

Aus dem Institut für Röntgenologie, Tierzahnheilkunde
und Veterinär-Orthopädie
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. E. Becker

Prüfung von Drahtsägen auf ihre Verwendbarkeit für die Osteotomie

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

1964

vorgelegt von
Gerd Woltersdorff
Tierarzt aus Luckenwalde

Berlin 1963
Journal-Nr.: 456



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Röntgenologie, Tierzahn-
heilkunde und Veterinär-Orthopädie
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. E. Becker

=====

PRÜFUNG VON DRAHTSÄGEN
AUF IHRE VERWENDBARKEIT
FÜR DIE OSTEOTOMIE

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Gerd Woltersdorff
Tierarzt aus Luckenwalde
Berlin 1963
Journal - Nr. 456

Gedruckt mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen
Fakultät der Freien Universität Berlin.

Dekan:	Prof. Dr. H.J. Heidrich
Referent:	Prof. Dr. E. Becker
Korreferent:	Prof. Dr. G. Wittke

Tag der mündlichen Prüfung: 21. II. 64



Meinem Vater und dem Andenken meiner Mutter
in Dankbarkeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Se</u>
I Einleitung	
II Literatur-Übersicht	
a) Methoden der Osteotomie	
b) Drahtsägen	
III Beschreibung des Instrumentariums zur Drahtsägen-Osteotomie nach E.Becker	2
IV Eigene Versuche	
a) <u>Versuchsreihe 1</u>	
1. Beschreibung der Versuchsanordnung	2
2. Versuchsmaterial und Vorversuche	2
3. Versuchstechnik	3
4. Versuchsergebnisse	3
b) <u>Versuchsreihe 2</u>	
1. Versuchsanordnung	3
2. Herstellung der Thermoelemente	3
3. Vorversuche zur Temperaturmessung im Knochen	3
4. Eichung des Thermoelementes	3
5. Versuchstechnik	3
6. Versuchsergebnisse	4
7. Besprechung der Versuchsergebnisse der Reihe 1	4
8. Besprechung der Versuchsergebnisse der Reihe 2	4
V Zusammenfassung	5
VI Schrifttumsverzeichnis	5

E i n l e i t u n g

In der Knochenchirurgie müssen häufig Osteotomien durchgeführt werden. Die künstliche Durchtrennung eines Knochens dient u.A. dazu, angeborene Fehlstellungen möglichst im jugendlichen Alter zu korrigieren, erworbene wieder zu beseitigen und Extremitäten zu verkürzen, falls dies aus orthopädischen Gründen erforderlich ist. Soweit es sich um solche Knochen handelt, die nicht verletzt sind, müssen sie zu einem solchen Eingriff freigelegt werden. Die Auswahl der Operationsstelle bringt es mit sich, daß wichtige Gewebe dann nicht im Schnittbereich sondern in der Nachbarschaft oder in der Tiefe der Operationswunde liegen. Sie dürfen bei der Osteotomie nicht verletzt werden. Zur Durchführung dieses operativen Eingriffes gibt es heute verschiedene Methoden, die noch näher beschrieben werden. Man unterscheidet solche, bei welchen der freigelegte Knochen von außen nach innen, und andere, bei welchen er von innen nach außen durchtrennt wird.

In der erstgenannten Form der Osteotomie bedient sich der Operateur des Knochenmeißels und des dazugehörenden Hammers und durchschlägt das Knochengewebe, oder er benutzt eine rotierende oder oszillierende Säge, welche er ebenfalls außen ansetzt, um den Sägenschnitt bis in die Tiefe der Wunde durchzuführen. In beiden Fällen besteht die Gefahr der Weichteilverletzung, beim Meißeln sogar die schwere Komplikationsmöglichkeit, daß das Knochengewebe in einer nicht vorauszusehenden Richtung aufsplittert.

Die zweite Methode ist die Osteotomie in entgegengesetzter Richtung: von innen nach außen. Diese wird mit Hilfe einer Drahtsäge durchgeführt. Man benutzte seither in der Human- und verschiedentlich auch in der Veterinär-Medizin die Gigli-Säge. Sie wird um den freigelegten Knochen gelegt und mit Hilfe von Handgriffen abwechselnd hin- und zurückgezogen. Die Schnittführung erfolgt aus der Tiefe

der Operationswunde und gewährleistet ein gefahrloses Arbeiten. Da die Gigli-Säge sich leicht im Knochen verklemmt und reißt, wird sie kaum verwendet. Die großen Vorzüge der Drahtsäge, die darin bestehen, daß eine erschütterungsfreie Osteotomie möglich ist, bei welcher weder Knochensplitterungen noch Weichteilverletzungen zu befürchten sind, können deshalb mit dieser Säge nicht erreicht werden.

In der Veterinär-Medizin ist die Drahtsäge nach Hauptner - Ließ bekannt. Sie wird zusammen mit dem Embryotom nach Thygesen in der tierärztlichen Geburtshilfe beim Großtier verwendet. BECKER schlug vor, diese seit vielen Jahren hervorragend bewährte Drahtsäge auch zur Osteotomie zu verwenden. Er entwickelte ein Instrumentarium, mit dessen Hilfe Osteotomien bei Mensch und Tier ohne die Gefahr unerwünschter Komplikationen durchzuführen sind.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird über Versuche berichtet, welche den Zweck haben, die Belastbarkeit der Drahtsäge für ihre Verwendung zur Osteotomie zu prüfen. Es sollte vor allem erprobt werden:

1. die Haltbarkeit der Säge beim Durchschneiden des harten Knochengewebes und
2. die Erwärmung der Säge im Knochen, um festzustellen, ob während der Operation zu hohe und damit schädliche Temperaturen auftreten.

Literatur-Übersicht

Das Instrumentarium der Knochenchirurgie hat seine Vorbilder beim holzbearbeitenden Handwerk, von dem es oft ohne wesentliche Abänderungen direkt übernommen wurde. Zur Durchführung von Osteotomien bedient man sich daher seit Alters her der Meißel und Sägen.

Wenden wir uns zuerst den Meißeln zu, von denen es die verschiedensten Formen gibt, die den Besonderheiten der einzelnen Operationen - je nach Lage und Verlauf der Schnittführung - Rechnung tragen sollen.

HEGEMANN (15) unterscheidet 4 Typen von Meißeln, die es in den verschiedensten Größenordnungen gibt.

1. Den Tischlermeißel (oder Stemmeisen), der nur einseitig angeschliffen ist, und der zum oberflächlichen Anschneiden von Knochen nützlich ist,
2. den messerscharfen Meißel, der zum Durchschneiden eines Knochenstückes dient,
3. den Hohl- oder Rinnenmeißel (ein- oder beidseitig angeschliffen), der zur Herstellung von Mulden und Rinnen oder zur Eröffnung von Höhlen dient,
4. den Schlossermeißel mit keilförmigem Querschnitt zum Sprengen von Knochen.

LANGE (19) führt noch besondere Meißelformen an:

einmal den Winkel-Meißel, der sich bei verschiedenen Knochen- und Gelenkoperationen ausgezeichnet bewährt haben soll, und zum anderen den Lexer-Meißel, der durch eine messerscharfe Schneide und einen Holzgriff ausgezeichnet ist. Dadurch werden alle Schläge nur gedämpft auf den Knochen übertragen.

Die Wirkung des messerscharf-geschliffenen Meißels wurde bereits 1920 von PAYR (28) erkannt, der diese Meißelform für besondere Operationen - wie "Abmeißelung einer Knochenplatte aus der Vorderfläche der Tibia" oder "Knochenplastiken am Schädel"-bevorzugte.

Sein Meißel ist ganz schmal (Breite 0,4 - 1cm), hat eine lange Klinge und ein kräftiges Heft aus bestem Stahl. Bei Verwendung dieses Meißels sollen Splitterungen vermieden werden. Die zum Klaffen bringende Wirkung des Meißels tritt gegenüber der rein spaltenden, messerartig in die Tiefe dringenden Wirkung zurück. Als Nachteil erwähnt der Verfasser das gelegentliche Ausspringen der Ecken des feingeschliffenen Werkzeugs.

1921 empfiehlt HELWIG (16) einen neuen Meißelschliff, der praktisch eine Kombination des messerartig geschliffenen Meißels mit dem Tischlermeißel darstellt. Die Spitze ist einseitig geschliffen, während die übrige Fläche dann nur ganz langsam an Dicke zunimmt. Dadurch will der Verfasser die Nachteile des Tischlermeißels (Splintern des Knochens) und des messerartigen Meißels (leichtes Zerbrechen des Instrumentes) vermeiden.

HAGLUND (12) ist mit der herkömmlichen Meißelform unzufrieden, weil die herausstehenden Ecken manchmal abbrechen und im Körper des Patienten zurückbleiben. Außerdem hält er die Form bei der Durchmeißelung runder Röhrenknochen für ungeeignet, weil die scharfen Ecken die Weichteile bereits verletzen, wenn der Knochenzylinder noch gar nicht durchmeißelt ist. Um diese Nachteile zu beheben, empfiehlt der Verf. Meißel mit abgerundeten Ecken und konvex verlaufender Schneide.

Während LANGE (19) die Bearbeitung des Knochens mit dem Meißel für schonender als mit der Säge hält, die er nur in besonderen Fällen benutzt, hebt HEGEMANN (15) die Vorteile der Säge gegenüber dem Meißel hervor. Ein genauer gezielter Schnitt läßt sich ohne unbeabsichtigte Risse in die Umgebung sicherer und mit weniger Kraftanstrengung durchführen. Die Erhitzung der Sägen und des umliegenden Gewebes läßt sich durch Verwendung geeigneter Instrumente und durch Berieselung des Sägeblattes mit kalter Kochsalzlösung weitgehend vermeiden.

Um eventuelle Störungen auf den Verlauf des Regenerationsprozesses am Knochen nach dem Sägen zu ermitteln, unternahm PETROVA (29) 1950 Versuche an Hunden. Am gleichen Oberschenkel entnahm er sowohl ein Knochenstück mit Hammer und Meißel als auch mit einer Kreissäge. Bei dem mit Meißel herausgenommenen Stück wiesen der Knochen und der herausgenommene Knochenspan Risse auf, während die Veränderungen in der Umgebung des Kreissägeschnittes wesentlich geringerer Natur waren. Die Knochenstücke wurden wieder zurückverlagert. Bei histologischen Untersuchungen, die in Abständen von mehreren Tagen vorgenommen wurden, konnten keine Nekrosen festgestellt werden, deren Ursachen in Hitzeeinwirkungen zu suchen waren.

HEGEMANN (15) teilt die einzelnen Sägen in vier große Gruppen ein:

1. Die Handsäge ermöglicht eine genaue Kontrolle der Schnittführung. Das Sägeblatt wird in die Bogenbandsäge so eingepaßt, daß die Zähne beim Wegschieben vom Operateur schneiden. Bogenförmige Schnitte sind nur mit schmalen, laubsägeartigen Blättern möglich. Bei Verwendung doppelseitig schneidender Sägeblätter ist das Heraussägen scharfer Winkel möglich.
2. Elektrisch betriebene Kreissägen arbeiten am schnellsten und können mit der geringsten Kraftanstrengung seitens des Operateurs betrieben werden. Zur besseren Führung der Säge und zum Schutz der Weichteile verwendet der Autor ein Winkelhandstück.
3. Eine Verbesserung der rotierenden Sägen stellt die oszillierende Säge dar, die völlig ungefährlich durch freie Schwingungen des Sägeblattes schneidet.
4. Die Drahtsäge nach Gigli besteht aus einem rauen Spezialdraht und zwei Handgriffen. Zum Durchziehen unter dem zu durchtrennenden Knochen verwendet man ein Dechamps, einen Zugfaden oder ein Spezialführungsgerät. Die Säge wird durch wechselseitige Züge an den Drahtenden betrieben.

Um ein Reißen des Drahtes zu verhindern, soll mit möglichst flachem Bogen gesägt, die ganze Sägenlänge bei jedem Zug ausgenutzt und mit kalter Kochsalzlösung beständig gekühlt werden.

Nach KINGREEN (17) lassen sich mit der Bogensäge von Bier oder Helferich auch bogenförmige Schnitte anlegen, indem man schmale Sägeblätter verwendet, die sich in verschiedenen Ebenen verstellen lassen. Bei feineren Sägearbeiten soll das Sägeblatt auf Zug eingestellt werden, so daß die Sägezähne zum Operateur gerichtet sind. Soll ein Schnitt in der Tiefe angelegt werden, oder will man von innen nach außen sägen, so findet eine Stichsäge oder eine Gigli-Säge Anwendung. Auch KINGREEN weist darauf hin, daß bei zu steilem Ansetzen der Giglisäge die Gefahr des vorschnellen Zerreißens besteht.

HADENFELDT (11) stellte 1930 fest, daß ausschließlich auf "Stoß" gestellte Sägeblätter, wie sie in der Technik üblich sind, in der Chirurgie unbefriedigend sind, weil das "Werkstück" nicht fixiert werden kann. Der Knochen kann leicht mitgezogen werden oder gerät dadurch in mäßige Winkelstellung zur Richtung des Sägeblattes, wodurch es zum Verklemmen kommt. Um diesen Nachteil zu beheben, läßt HADENFELDT ein Sägeblatt herstellen, das in beiden Richtungen schneidet. Dadurch soll der Zug beim Sägen besser ausgenutzt werden, da der Stoßschnitt in der Chirurgie nicht voll ausgewertet werden kann. In Versuchen stellte er zwischen zwei schneidende sogenannte Wolfszähne einen neutralen, nur auf beiden Seiten geschärften Dreieckszahn. In seinen neukonstruierten Sägeblättern aber wechseln sich die Reißzähne unmittelbar ab. Die Schränkung erfolgt wie bisher

Über die Neukonstruktion eines Winkelhandstückes und die Abänderung der Zahnformen bei der Kreissäge berichtet 1951 und 1955 THOMSEN (40/41). Um eine Verletzung der Weichteile und ein Zerreißen der Operations-Wäsche einzuschränken, wird bei dem Winkelhandstück von THOMSEN das Sägeblatt um 90° gedreht, sodaß es nicht mehr wie vorher

quer zur Achse steht. Da es durch Absetzen von Knochenmehl zwischen den zu kleinen Zähnen zu Leerlauf und unnötig vermehrter Erhitzung des Knochengewebes kommt, vergrößert der Verf. die Zähne und läßt sie an der Basis in runden Ecken auslaufen.

Als eine Abwandlung der Kreissäge ist die "Sägezange" von KRÜMMEL (18) anzusehen. Sie besteht aus zwei Branchen, deren eine eine längsrotierende Kreissäge und deren andere eine Klaue trägt, die nach ihren Maßen genau in die Kreissäge paßt. Während des allmählichen Schließens der Zange wird der gepackte Knochen durchsägt. Zur Kühlung des Sägeblattes ist eine Anlage angebracht, die über einen Schlauch mit einem Irrigator verbunden werden kann.

Um ein gefahrloses Sägen in der Tiefe zu erreichen, konstruierte BAEYER (1) seine Pendel-Knochensäge. Nach seiner Ansicht erwiesen sich die bisherigen Sägen als unzureichend dafür. Während die Gigli-Säge zu schnell reißt, behindert bei der Kreissäge die Achse ein Eingehen in große Tiefen. Bei Vergrößerung des Sägeblattes wird auch die Gefahr für das umliegende Gewebe vergrößert. Das Sägeblatt der Pendel-Knochensäge wird durch einen Exzenter in Bewegung gesetzt, der durch eine biegsame Welle mit einem Elektromotor in Verbindung steht.

Über ein Führungsgerät für die Gigli-Säge berichtet SARNOFF (36). Dabei läuft der Sägedraht in einem einfachen Metallrohr, das sich für je ein Ende der Säge hörnerartig gabelt. Der Verf. verwendet Führungsrohre verschiedener Größe. Da nur der auf dem Knochen gleitende Teil der Säge frei läuft, wird in einfacher Weise das umgebende Gewebe geschützt.

DEWITZ (7) berichtet in seiner Dissertation anhand reichen Bildmaterials über die Anwendung eines von E.Becker entwickelten Drahtsägenführungsinstrumentes bei der Rotationsosteotomie zur Behebung der angeborenen Hüftgelenksluxation beim Menschen. Als Sägedraht dient die von der Firma Hauptner zur Embryotomie bei Großtieren hergestellte Ließsäge, die

aus 27 verflochtenen Einzeldrähten besteht. Das Gerät hat zwischen den beiden Führungsrohren für die Drahtsäge eine Mittelstütze, die bei der Osteotomie auf den Knochen aufgesetzt wird. Dadurch wird eine genaue, erschütterungsfreie Schnittführung erreicht und der Sägenzug kann durch Gegendruck kompensiert werden. Das Instrumentarium wurde bei insgesamt über hundert Rotationsosteotomien angewendet.

Der tierärztliche Geburtshelfer braucht zur Embryotomie bei Großtieren Drahtsägen, deren Drähte zum Schutz der weichen Geburtswege in bestimmten Führungsgeräten laufen.

Erste Hinweise auf die Anwendung eines Drahtes zur Abtrennung des Kopfes bei einem Fetus finden sich im "Handbuch der tierärztlichen Geburtshilfe" von LUDWIG FRANCK (1) aus dem Jahre 1876. FRANCK benutzte bei seinen Versuchen zur Dekapitation dünne, gutgeglühte Eisen- oder Messingdrähte. Neben den Weichteilen werden auch Knochen mit dem Draht glatt durchschnitten. Zur Durchschneidung des gesamten Brustkorbes verwendet FRANCK wiederum dünne, einfache oder zu zwei und drei zusammengedrehte, feinere Drähte von 3 - 4m Länge. Der Verf. hält jedoch die Methode noch nicht für praxisreif, da die Drähte bei jeder Schnittführung zwei- bis zehnmal rissen und ein erneutes Einführen des Drahtes in die gleiche Wunde sich immer schwierig gestaltete. Der Hauptgrund für das leichte Reißen des Drahtes war in der starken Erhitzung zu sehen, die um so schneller eintrat, je kürzer der Draht war. FRANCK gab schon damals die erste Anregung für die wesentlich später entwickelten Führungsgeräte, indem er schreibt: "Bei der Anwendung in praxi müßte man jedes Drahtende durch eine Blechröhre ziehen, um Verletzungen des Muttertieres zu verhindern."

Nach einer Beschreibung von R.HAUPTNER (14) aus dem Jahre 1926 handelt es sich bei der Drahtsäge nach van Staa, die als erste Anwendung in der Tiergeburtshilfe fand, um einen Draht, der als Seele klaviersaitenartig von einem dünnen Bronzedraht umwickelt ist. Zwei derartige Drähte sind miteinander verbunden.

Die Säge ist von geringer Widerstandskraft, wegen der Verwendung von Weichmetall aber sehr geschmeidig.

Die Drahtsäge von EHLERS dagegen, die wie die Säge nach VAN STAA bereits 1907 im Hauptner-Katalog zu finden ist, besteht aus zwei miteinander verflochtenen Stahl-drähten. Sie ist mit einem Durchmesser von 0,6mm wesentlich dünner als die van Staa'sche Säge, die einen Durchmesser von 2,1mm aufzuweisen hat. Der geringe Durchmesser und die leichte Wellung (keine Seele umflochten) bedingen einen geringeren Widerstand, und die Säge arbeitet deshalb leichter.

Mit den Veröffentlichungen von THYGESEN und NEUBARTH in den Jahren 1921 und 1922 über ihre Drahtsägeführungs-geräte wird die Frage nach haltbaren und gut schneidenden Drahtsägen erneut in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Durch Reibung an den Köpfen der Führungsgeräte wird nämlich die Abnutzung der Drahtsägen wesentlich erhöht, besonders bei Schnittführung quer zur Achse des Muttertieres.

Das Universal-Embryotom von THYGESEN (42) ist dadurch charakterisiert, daß der Draht - mit Ausnahme der sägenden Schlinge - in einem Metallrohr verläuft, was für das Muttertier einen wesentlichen Schutz bedeutet.

Nach SCHÜLLER (37) besteht das Instrument aus zwei 72cm-langen Metallröhren, die im Abstand von 1,5cm zueinander parallel liegen und durch drei Klammern verbunden sind. Das vordere Ende des Instrumentes wird durch zwei durchbohrte Stahlköpfe gebildet, die miteinander verschweißt sind. Die Öffnung ist an allen Seiten abgerundet, damit der Sägedraht an keiner scharfen Kante entlang gleiten kann. Der Bohrkanal ist in den Köpfen trichterförmig nach außen erweitert. Die Thygesen'sche Drahtsäge besteht aus vier glatten, roßhaardicken Stahldrähten, die zunächst zu zweien und dann paarweise zusammengedreht sind. Die vier Stahldrähte sind zusammen trotzdem nicht dicker als ein einziger Draht der Van Staa'schen Säge und infolgedessen viel geschmeidiger als diese. Da sich die Säge bei der Arbeit

stark abnutzt, hat Thygesen vorgeschlagen, sie in einer Länge von 10m zu verwenden, um erforderlichenfalls bei der Arbeit die sägende Stelle wechseln zu können. Bei schnellem Sägen wird der Draht warm und büßt dadurch seine Widerstandskraft ein. Um das Heißlaufen zu unterbinden, sollen während der Arbeit kleine Pausen eingelegt werden.

1922 - nach Erscheinen der Veröffentlichung SCHÜLLER'S über das Embryotom von Thygesen - beschreibt NEUBARTH (25) sein Fötotom, das er seit 1906 in seiner geburtshilflichen Praxis anwandte. Es ähnelt im Prinzip dem Thygesen'schen Embryotom, mit dem Unterschied, daß es nicht wie dieses aus zwei Metallrohren besteht, sondern nur aus einem einzigen, an dessen vorderem Ende ein abnehmbarer, dicker Stahlkopf sitzt, der zwei Bohrkänäle enthält, die in dem Metallrohr enden. Über die Art der verwendeten Drahtsäge wird nichts berichtet. 1923 folgt eine weitere eingehende Beschreibung des Fötotoms von NEUBARTH (26) durch den Erfinder. Danach handelt es sich bei dem Instrument um ein 73cm-langes und 2,5cm-starkes Rohr, an dessen vorderem Rand ein 3cm-langer Stahlkopf sitzt, der jetzt gegenüber dem ersten Modell dahingehend abgewandelt ist, daß die zwei 5cm-weiten Führungsgänge im Kopf in einer Vertiefung liegen, um die ein wulstartiger, sehr harter Rand verläuft. Als Säge verwendet NEUBARTH ein 3m-langes Seil, das aus zwei umeinandergewundenen Schnüren besteht, die ihrerseits zwei Stahl-drähte darstellen. Es ist an beiden Enden mit Handgriffen versehen.

Sowohl das Fötotom nach Neubarth wie auch das Thygesen'sche Drahtsägenembryotom wurden in der Folgezeit mehrfach abgewandelt, blieben aber im Grundprinzip erhalten. Das Embryotom nach Thygesen erfuhr seine Normung durch GÖTZE in der Hannover'schen Klinik (RICHTER/GÖTZE (35)). Es wurde von 65cm auf 86cm verlängert, erhielt eine verschiebbare Halteplatte und konnte nun auch bei großen Muttertieren (Stuten) Verwendung finden. Der Kopf besteht jetzt aus Stahl von glasharter Beschaffenheit. Er besitzt nach allen Seiten

eine genau kreisförmige Rundung mit einem Wulstdurchmesser von 2cm. Um das Gerät besser reinigen zu können, dürfen ferner das Röhrenlumen sowie die Öffnungen für die Säge nicht zu eng gehalten werden. Der Wulst zwischen den beiden Sägeöffnungen darf nach GÖTZE nicht schmaler als 25mm werden, weil sich sonst die Säge schwer in Gang bringen läßt, wenn die Sägeschlinge auf umfangreichen fetalen Massen liegt.

Über die Anwendung des von ihm selbst modifizierten Neubarth'schen Fötotoms bei einem Schistosoma reflexum berichtet BENESCH (3) bereits im Jahre 1925.

1929 schreibt BENESCH (4) über die Modifikation des Fötotoms wie folgt:

"Durch eine Stahleinlage am hinteren freien Ende des Instrumentes wird eine Teilung des Sägerohrs in eine rechte und eine linke Seite erreicht. Dadurch soll eine Überkreuzung der Sägedrähte verhindert werden. Ferner erhält der Kopf des Fötotoms eine Eindellung."

BENESCH hält das Thygesen'sche Embryotom für zu kurz - besonders bei der Geburtshilfe am Pferd. In seinem "Lehrbuch für Geburtshilfe" beschreibt derselbe Verfasser (6) das durch ihn modifizierte Neubarth'sche Fötotom als ein 95cm-langes, durch Schraubengewinde in zwei Teile zerlegbares Metallrohr, das am Vorderende einen ebenfalls abschraubbaren Kopf aus härtestem Stahl mit zwei getrennten Führungskanälen trägt, die trichterförmig nach außen münden. Die Maße des Kopfes sind: größte Breite - 70mm, größte Höhe - 43mm, Länge - 50mm. Zur Verringerung des Querdurchmessers ist eine Seite abgeflacht. Als Vorteil gegenüber dem Universal-Embryotom nach Thygesen hebt BENESCH die Zerlegbarkeit des Instrumentes hervor, wodurch ein leichtes Transportieren gewährleistet ist. Wegen der Einrohrigkeit und der Abflachung des Kopfes verlangt das Fötotom außerdem nur wenig Raum im Geburtsweg und ist dort sehr leicht zu lenken.

GLÄTTLI (10) ist der Ansicht, daß die Embryotomie durch ein starres Führungsgerät erschwert wird, und daß es bei Schnitten quer zur Achse des Muttertieres nicht in der Lage ist, der gleitenden Säge einen ausreichenden Schutz zu gewähren. Um diesen Nachteil zu beheben, nimmt er 50cm-lange Metallschläuche von 22mm Durchmesser, an deren Enden er je eine Ansatzmuffe aus "Diamantstahl" anbringt, die durch ihre Härte von der Säge nicht angegriffen werden kann.

REETZ (33) modifizierte später die Glättli-Spiralen und wandelte die geschlossenen Spiralen in ein offenes System um. Durch seine Draht-Spiralen wird eine Bewegungsmöglichkeit "bis zu 0°" gewährleistet.

Ein ähnliches Führungsgerät - ebenfalls mit Spiralen - wurde auch von SCHLICHTING (38) 1932 publiziert. Er modifizierte das Gerät, das Meyer ein Jahr vorher demonstriert hatte. Die Säge läuft an dem fetus-nahen Ende über zwei "Kloben", die an einer Hakenplatte befestigt sind. Die Schutzspiralen haben eine Länge von 75cm.

Die Drahtsägenführungsgeräte von Neubarth und Thygesen haben sich in der Tiergeburtshilfe - wenn auch in abgewandelter Form - bis heute erhalten und bewährt. Die Drahtsägen dagegen sind längst durch bessere ersetzt worden.

So berichtet POMAYER (30) 1925 über eine neue Säge, die bei hoher Beanspruchung 3 - 4 totale Embryotomien - allerdings ohne Führungsgerät - überstehen soll. Die Säge besteht aus zwei auffallend dünnen Drähten von ausgesuchtem, vielfach durchprobiertem und sehr zähem Spezialdraht. Diese Drähte sind zu einem "Zwirn" von 1,50m Länge zusammengedreht, dessen Enden mit kleinen Nickelringen versehen sind. Die Zahl der Windungen wurde in vielen Versuchen genau festgelegt.

LINDE (24) machte mit der Pomayer'schen Säge bei einer Embryotomie schlechte Erfahrungen. Schon nach wenigen vorsichtigen Zügen riß sie im Ring aus.

1930 weist POMAYER (31) erneut auf die Haltbarkeit und die Vorzüge seiner als "Sectator" bezeichneten Säge hin. In einen 8mm-starken Eisenstab graben 70 Doppelzüge eine 1mm-tiefe, glattpoliert erscheinende Rinne. In einen Stahlstab wird durch 70 Doppelzüge ein leichter Eindruck eingesägt, ohne daß die Säge dadurch zum Reißen kommt.

STRODTHOFF und SCHLICHTING (39) prüften vergleichend die Originalsäge zum Thygesen-Embryotom und die von der Firma Hauptner gelieferte Säge. Dabei stellte sich heraus, daß die Hauptner-Säge haltbarer ist und besser schneidet.

1927 modifizierte LIESS (21) das Thygesen-Embryotom. Ihm erscheint der benutzte Neubarth'sche Sägedraht zu kurz. Um die Gefahr des Reißens herabzumindern, fordert er die Verdoppelung der Sägenlänge.

Ein Jahr später berichtet derselbe Verfasser (22) über eine neue Drahtsäge, die aus neun Einzeldrähten besteht, von denen jeweils drei zu einem Faden verdreht und dann miteinander verflochten sind. Der Durchmesser dieser "Ließ'schen Säge" beträgt an allen Stellen ca. 0,75mm, sodaß die Säge vollkommen drehrund ist. Diese Säge verträgt eine Belastung von 40 kg. Nach Angaben des Verfassers kann die Säge auch bei Klauenamputationen und Rippenresektionen Anwendung finden. LIESS schlägt vor, eine lange Säge zu benutzen, um bei Beschädigung oder nach Reißen den Schnitt mit dem längeren Säge teil weiterführen zu können. Als Vorteile seiner Säge hebt LIESS hervor:

1. die große Biegsamkeit und Geschmeidigkeit,
2. die glatte Oberfläche, die glatte, splitterfreie Schnittflächen im Knochen gewährleistet, und
3. die Rostfreiheit, weshalb die Säge nach Gebrauch keiner besonderen Wartung bedarf.

Für die Drahtenden empfiehlt LIESS seine Kugelgriffe. Die Drahtsäge wird dabei zwischen zwei Halbkugeln von 3cm Durchmesser geklemmt. Die Halbkugeln lassen sich durch Schrauben mit Muttern fest aneinander pressen.

BENESCH (3) sieht in der Ließ'schen Drahtsäge keine Verbesserung der bisher angewandten Drahtsägen, da das Kringeln und Reißen nach mehreren Embryotomien ebenso eintritt wie bei älteren Drahtsägen mit nur vierfacher Fadenzahl, obwohl die Säge vor der Anwendung bedeutend weicher und geschmeidiger erscheint. BENESCH schlägt daher vor, in Zukunft das Augenmerk mehr auf die Verbesserung der Drahtsägen mit nicht zu großer Fadenzahl zu richten, wie sie schon Pomayer, Ehlers und Thygesen benutzten.

1930 prüfte LIEBSCH (20) mehrere Sägenmodelle auf ihre Sägewirkung und Haltbarkeit. Er untersuchte dabei folgende Sägen:

1. die Säge nach van Staa,
2. die Ehlers'sche Säge und den Sectator von Pomayer,
3. das Hauptner-Modell C (die Säge nach Thygesen von Hauptner hergestellt),
4. die Ließ'sche Säge (9 Einzeldrähte) und
5. das Hauptner-Modell D, bestehend aus 4 x 2 Einzeldrähten.

Prüfungsobjekte waren Extremitäten-Knochen ausgewachsener Rinder und Rinderfeten. Am Rinderfetus wurden Versuche im Sägerohr und mit der frei laufenden Säge durchgeführt. Bei seinen Sägeversuchen an Extremitäten-Knochen kam der Verfasser zu folgenden Ergebnissen:

Die Bronzedrahtsäge nach van Staa besitzt eine völlig unzureichende Widerstandskraft. Bei höchster Erhitzung zeigt sie die geringste Sägeleistung und Sägewirkung. Schon nach kürzester Arbeitszeit ist sie stark abgenutzt.

Die Sägen nach Ehlers und Pomayer ließen nach etwa 400 Zügen in der Sägewirkung nach und liefen mehrere hundert Züge leer. Das Modell C stockte mehrmals während des Sägens.

Das Modell D und die Ließ'sche Säge zeigten sehr gleichmäßig sägende Wirkung bis zum Riß, wobei allerdings die Säge nach Ließ weniger widerstandsfähig war. Sie riß - wie die

Sägen nach Ehlers und Pomayer - nach weniger als tausend Sägezügen. Bezüglich der Sägewirkung stellte LIEBSCH generell fest: "Je mehrfach die Wickelung, um so besser die Zahnung, um so besser die Sägewirkung." Nach hundert Sägezügen war bei allen Sägen die Erhitzung so stark, daß man sie nicht mehr anfassen konnte, ohne sich zu verbrennen. Die dünnste (Ließ) und die weichste Säge (van Staa) waren am stärksten erhitzt. Nach Prüfung der Sägen am Rinderfetus kommt der Verfasser zu folgender Bewertung:

1. das Hauptner-Modell C weist die beste Sägeleistung am Fetus auf.
2. Die Ließ'sche Säge zeigt im Sägerohr die gleiche Sägeleistung, steht aber in der Wirkung zurück.
3. Der Typ D - von Hauptner - erzielt bei erhöhter Sägeanforderung Bestleistung, arbeitet aber am Fetus mit bedeutend verzögerter Sägewirkung.
4. Die Säge nach van Staa ist zwar bei der Arbeit am Fetus allen anderen - mit Ausnahme des Thygesen-Modells - in der Wirkung überlegen, ist aber zur Arbeit im Sägerohr ungeeignet.
5. Die Pomayer'sche Säge schließlich ist zwar haltbarer als die Ehlers'sche Säge, bedeutet ihr gegenüber aber keinen Fortschritt.

Abschließend kommt LIEBSCH zu dem Urteil, daß auch die Ließ'sche Säge beim freien Gebrauch keinen Fortschritt bedeutet, daß sie aber auf Grund ihrer größeren Biegsamkeit dem Modell C im Sägerohr überlegen ist.

Ein Jahr später prüfte LIESS (23) eine neue, verstärkte Säge im Röhrenembryotom. Bei dieser Säge handelt es sich um die dreifache Verstärkung der alten "Ließ'schen Säge", die nunmehr aus $3 \times 3 \times 3$ verdrehten Teildrähten besteht. Die Stahldrähte sind durch Verzinken rostwiderstandsfähig gemacht. Die Kringelbildung durch Streckung des Stahls während des Arbeitens ist ungefährlicher als bei dünneren Sägen, weil die Kringel bei dickeren Sägen größer sind und

sich deshalb nicht so leicht ineinanderschieben lassen. Nach längerer Sägedauer stellte der Verfasser ebenfalls eine Erhitzung der Sägedrähte fest, die jedoch nach seiner Ansicht infolge der Vergrößerung der inneren und äußeren Flächen durch viele freie Drähte so schnell abstrahlt, daß die Sägepausen zur Vermeidung des Heißlaufens nur kurz gewählt zu werden brauchen. Bei der vergleichenden Prüfung zweier verschiedener Sägedrähte wurden symmetrische Schnitte am selben Fetus durchgeführt. Dabei erwies sich die neue Säge mit ihren 27 Teildrähten als die haltbarste, wenn auch derselbe Effekt mit der dünneren, alten "Ließ'schen Säge" schon nach weniger Sägezügen erreicht werden konnte. Die dünnere Säge riß jedoch wesentlich früher als das neue Modell.

1931 berichtet BECKER (2) über vergleichende Untersuchungen der Persson'schen Gliedersäge und der Drahtsäge Hauptner-Modell D (4 x 2 Teildrähte). Dabei stellt er fest, daß die Kettensäge nicht so widerstandsfähig ist wie das Modell D der Drahtsäge. Dieses Modell bezeichnet er als die widerstandsfähigste von allen ihm bekannten und von ihm erprobten Drahtsägen. Da das Modell D der Kettensäge in den schneidenden Eigenschaften nicht nachsteht und die Kettensäge sogar darin übertrifft, da es leicht angelegt werden kann, ferner nicht festklemmt und sämtliche Knochen und Gelenke glatt durchschneidet, kommt der Verfasser zu dem Schluß, daß die Kettensäge in der tierärztlichen Praxis entbehrt werden kann.

HAGMANN (13) und QUAST (32) prüften anhand von Versuchen die Sägeabnutzung in verschiedenen Drahtsägen-Führungsgeräten. Dabei kommen sie übereinstimmend zu der Feststellung, daß die Haltbarkeit der Säge abhängig ist von dem Krümmungsradius des Embryotomkopfes. Auf Grund dieser Ergebnisse modifizierte HAGMANN den Kopf des Thygesen-Embryotoms, indem er den Krümmungsradius um 3mm vergrößerte. QUAST stellt in seiner Dissertation ferner fest, daß die Drahtsäge Hauptner-Katalog Nr. 4614b (Ließ-Modell mit

3 x 3 x 3 Einzeldrähten) der Drahtsäge Nr. 4613a des Hauptner-Kataloges (2 x 2 Einzeldrähte) hinsichtlich ihrer Haltbarkeit überlegen, in der Schnelligkeit der Sägewirkung über unterlegen ist.

Eingehende Prüfungen der Haltbarkeit verschiedener Drahtsägen führte ZIRKLER (43) durch. Sägeobjekte waren Kälber von Schweregeburten oder Notschlachtungen trächtiger Kühe. Die Sägedrähte wurden im Thygesen-Embryotom und in der Hannover'schen Modifikation des Gerätes nach Ließ geführt. Nach 30 Zügen (ein Zug = 1 x hin und her) wurde jeweils eine Pause eingelegt. Geprüft wurden die Säge Nr. 4614b des Hauptner-Kataloges (Ließ-Säge mit 3 x 3 x 3 Einzeldrähten), die Säge Nr. 4613a des Hauptner-Kataloges - die dem Modell C, d.h. also der Hauptnerherstellung der Thygesen-Säge gleichzusetzen ist (2 x 2 Einzeldrähte), und die Säge nach Reetz, die aus zwei harten Stahldrähten besteht. Dabei stellt der Verf. fest, daß die Ließ-Säge (Nr. 4614b) zwar die dreifache Zeit hält, aber nur $\frac{1}{3}$ der Arbeit mehr leistet, als die Säge Nr. 4613a. Nach 60 - 70 Sägezügen braucht die Säge Nr. 4614b die doppelte Zeit um den gleichen Schnitt auszuführen wie die Säge Nr. 4613a. ZIRKLER führt dieses Verhalten darauf zurück, daß sich Knochenmehl und Fleischfetzen zwischen die Drähte setzen, und daß die "Zahnung" auf Grund der Weichheit des Materials nachläßt. Die Säge nach Reetz erwies sich bei allen Versuchen als am wenigsten haltbar. Die Säge ist weniger scharf als die Säge Nr. 4613a und braucht deshalb für die gleiche Arbeit mehr Zeit. In dem in Hannover modifizierten Thygesen-Embryotom mit verkleinerten Röhrenköpfen leisten die Drahtsägen nur etwa die Hälfte wie im Original-Thygesen-Gerät. Auch diesmal ist die Säge Nr. 4614b den beiden anderen in der Länge der Arbeitszeit überlegen, und die Reetz-Säge weist wiederum die schwächsten Leistungen auf. Bei Zerreißproben der Sägen (durchgeführt von einer technischen Anstalt) halten die Sägen Nr. 4614b und das Modell nach Reetz Belastungen von 75 kg aus, wogegen die Säge Nr. 4613a nur

nur 60 kg erträgt. Der Verf. schließt daraus, daß nicht allein die technische Zugbelastung für die Haltbarkeit maßgebend sein kann, sondern daß auch die Dehnungsfähigkeit und die Zähigkeit des Materials eine bedeutende Rolle spielen.

Die Kringelbildung der Drahtsägen führt REETZ (33) zu einem wesentlichen Teil auf die Biegung an den Köpfen der Sägenführungsgeräte zurück. So schreibt er 1950: "Wird eine Drahtsäge im Führungsgerät über ihre Biegungsgrenze hinaus gebogen, so werden die Kristalle (innerhalb des Drahtes) in die verschiedensten Richtungen verschoben. Es entsteht eine starke Spannung des innerkristallinen Gefüges, worauf die Kringelbildung zurückzuführen ist. Der Durchmesser des Einzelkringels steht im gleichen Verhältnis zum Durchmesser der Biegung, aber im umgekehrten Verhältnis zur Stärke des Einzeldrahtes."

OSTERWALD (27) äußert sich im Jahre 1961 eingehend zur Kringelbildung bei Drahtsägen und macht für die Beanspruchung der Drahtsägen bei der Embryotomie verantwortlich:

- a) den Biegungsradius -
 - 1. des Führungsinstrumentes
 - 2. des abzusetzenden Fetusteiles
- b) die Konsistenz und den Reibungswiderstand der durchzusägenden Organe -
- c) hinsichtlich der Säge -
 - 1. die Stärke des Einzeldrahtes
 - 2. die Biegungselastizität des Sägenmaterials
 - 3. die Oberfläche der Säge und deren Reibungswiderstand
- d) bei der Sägetechnik -
 - 1. die Länge der Sägezüge
 - 2. die Frequenz der Sägezüge
 - 3. die Spannung der Säge.

Um die Reibungswärme auf einen längeren Sägeabschnitt zu verteilen, empfiehlt er lange Sägezüge. Da durch Erhitzung des Drahtes seine Elastizität vermindert wird und dadurch die Neigung zum Kringeln wächst, sollte bei der Arbeit ab und an eine Ruhepause eingelegt werden.

1962 weist REETZ (34) erneut auf die Gefahr der Kringelbildung bei Drahtsägen am Kopf des Führungsgerätes hin und empfiehlt zur Vergrößerung des Biegungsradius erneut die von ihm modifizierten Glättli-Spiralen.

BENESCH (5) untersuchte 1935 die Frage, welcher Sägegriff für die Drahtsägen am besten geeignet ist. Nach Art ihrer Befestigung teilt er die vorhandenen Griffe in drei Gruppen ein:

1. Durch eine quere Bohrung eines Metallstabes wird die Säge hindurchgeführt und mit einer in das Lumen der Bohrung reichenden Schraube festgehalten. Diesen Typ verkörpern die Griffe nach Thygesen, Vanselin u.a.
2. Die Drahtsäge wird zwischen breiten Metallflächen festgeklemmt, die durch eine Schraube gegeneinander bewegt werden können. Dieses Prinzip wird bei den Griffen von LIESS (21), Koller und Schebitz vertreten.
3. Beim Simon'schen Griff schließlich wird die Säge zwischen den langen und schmalen Flächen zweier spitzwinklig zueinander gestellten Hebelarme festgehalten.

Der Verf. gibt dem Simon'schen Griff den Vorzug, weil ein festes Anziehen der Schraube, wie es bei den beiden anderen Typen notwendig ist, nur mit trockenen Händen gelingt, eine Voraussetzung, die während der Geburtshilfe wohl kaum gewährleistet sein dürfte. Bei den Sägegriffen vom 1. Typ kann die Säge durch das Einklemmen beschädigt werden.

In der Hannoverschen Klinik (RICHTER/GÖTZE (35) werden einfache Ringgriffe mit einem starken Ohr zum Einknüpfen der Säge benutzt. Bei Einklemmung besteht nach Ansicht der Verf. die Gefahr, daß sich entweder die Säge herauszieht, oder daß sie durch zu starkes Einklemmen beschädigt wird. Außerdem kann das freie Ende der eingeklemmten Säge zu Verletzungen der sägenden Person führen.

1960 berichtet GELLERT (9) über einen neuen Handgriff. Dabei handelt es sich um einen Ringgriff, in den die Drahtsäge eingeklemmt wird.

BECKER (44) veröffentlicht 1963 einen "kurzen Überblick über die Osteosynthese und Osteotomie unter Verwendung einer neuen Knochensäge". Es wird über eine Drahtsäge berichtet, welche zur Osteotomie sowie zur Kürzung von Fragmenten bei der Osteosynthese angewandt werden kann. Sie besteht aus 2 Führungsinstrumenten, mit welchen die Säge um den freigelegten Knochen herumgeführt wird, und dem Osteotom, welches es ermöglicht, die Schnittführung innerhalb des Knochens den Erfordernissen der Operation entsprechend zu ändern sowie den Zug der Drahtsäge auf das Fragment durch Gegendruck zu kompensieren. Die Durchtrennung des Knochens erfolgt ohne Erschütterung der Gewebe.

Beschreibung des Instrumentariums zur Drahtsägenosteotomie
nach E.Becker

Zur Osteotomie mit einer Drahtsäge entwickelte E.Becker ein besonderes Instrumentarium, zu dem ein Drahtsägenführungsgerät, eine Leitsonde für die Drahtsäge, ein Spatel zum Auffangen der Säge sowie zwei Sägehandgriffe gehören (Abb. 1).

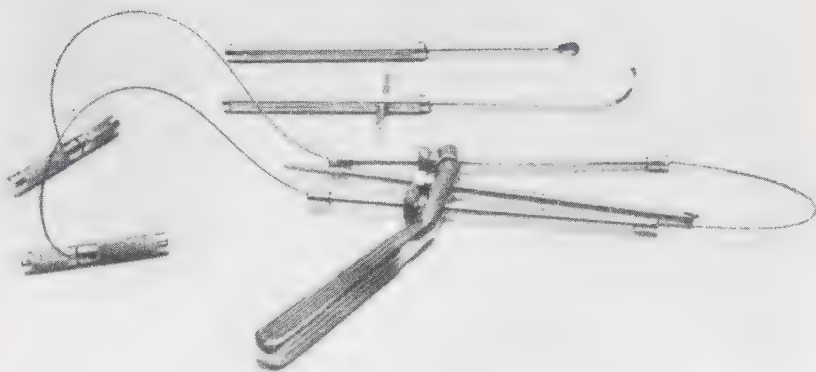


Abb. 1: Instrumentarium zur Drahtsägenosteotomie
nach E.Becker

Das Drahtsägeführungsinstrument ist nach dem Prinzip des in der Tiergeburtshilfe verwendeten Thygesen-Embryotoms konstruiert. Zum Schutz der Weichteile läuft die Drahtsäge in zwei 16cm-langen Messingrohren, in die rostfreie Stahlrohre eingezogen sind. Die Rohre haben einen Innendurchmesser von 3,2mm. An beiden Enden ist ein Sägenkopf aus gehärtetem Stahl aufgeschraubt. Die beiden Rohre laufen im Abstand von 33mm durch Bohrlöcher im Hauptstück des Führungsgerätes, in welchen sie in der Längsrichtung verstellbar sind. Sie werden in Spannhülsen durch Anziehen von gerändelten Muttern fixiert. Zwischen beiden Rohren befindet sich in einer dritten Bohrung eine 19,5cm-lange Stütze aus rostfreiem Stahl, die an einem Ende eine um eine Achse bewegliche doppelte Spitze zum Aufsetzen auf den Knochen trägt. Sie kann gegen eine Stütze mit einfacher Spitze ausgewechselt werden. Die Mittelstütze dient zum Auffangen des Sägezuges. Sie läßt sich ebenfalls durch eine gerändelte Spannmutter in einer Ruchse am Bohrloch festklemmen. Während das untere Führungsrohr in einem Winkel von 87° auf die Mittelstütze weist, ist das obere Rohr in dieser Ebene durch ein Gelenk im Hauptstück frei beweglich. In seinem unteren Bereich ist in das Hauptstück ein Quergriff eingelötet, der es auf beiden Seiten gleich lang überragt. Nach unten setzt es sich mit einem Winkel von 160° in einen Handgriff fort. Wie alle Teile des Instrumentariums ist auch das Osteotom vernickelt.

Die Leitsonde besteht aus einem Rohr von rostfreiem Stahl mit einem Innendurchmesser von 3,2mm, das an der Spitze mit einem Radius von 12mm halbkreisförmig gebogen ist. Am Ende ist es von einem Handgriff umgeben, der ebenfalls einen Quergriff trägt. Durch diese Leitsonde wird die Drahtsäge um den Knochen geführt. Zum Schutz der Weichteile wird sie auf der anderen Seite des Knochens über einen gebogenen Spatel geleitet, der mit einer Führungsrinne für die Säge versehen ist.

Für die Drahtsäge wurden neue Handgriffe nach dem Klemmschraubenprinzip entwickelt. Die Säge wird in einer

Bohrung durch den Griff geführt und mit dem Gewindebolzen des auseinander-schraubbaren Handgriffes festgeklemmt. Zur Vermeidung von Verletzungen der sägenden Person und Beschädigungen der Gummihandschuhe sowie zur weiteren Fixierung wird das Ende der Säge in ein zweites 12mm-tiefes Bohrloch gesteckt, das im spitzen Winkel auf die erste Bohrung weist. Dadurch wird bereits ohne Einklemmen in die Schraube eine Befestigung der Säge erreicht.

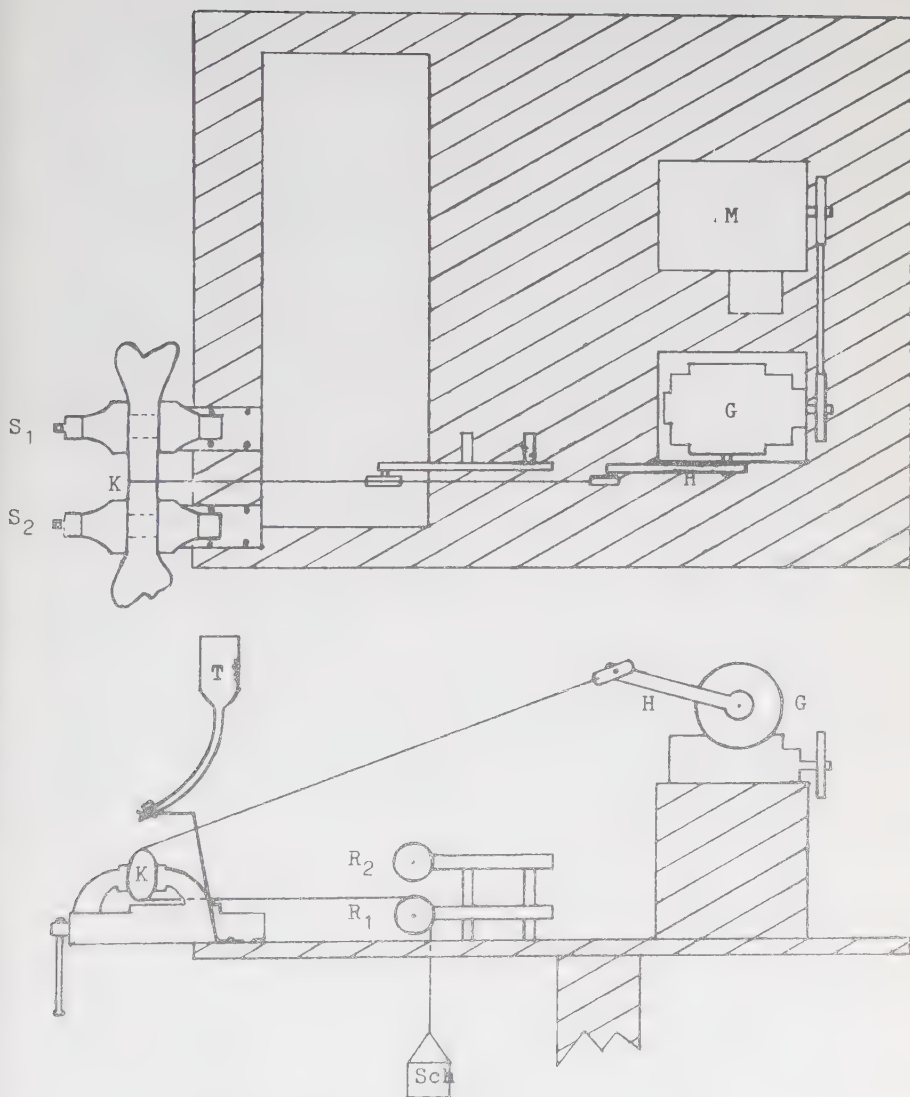
V e r s u c h s r e i h e 1

=====

Beschreibung der Versuchsanordnung:

Für eine objektive Prüfung der Arbeitsleistung verschiedener Drahtsägen ist es notwendig, die menschliche Kraft beim Sägen durch die gleichbleibende Zugkraft eines Motors zu ersetzen. In der Versuchsanordnung (Abb. 2) wurde dazu ein Wechselstrom-Elektromotor (M) verwendet, der mit 1450 U/Min. arbeitet. Der Motor steht über einen Keilriemen mit einem Getriebe (G) in Verbindung, an dessen Hebelarm (H) an der Spitze ein um eine Achse bewegliches Metallstück angebracht ist, das mit drei Bohrlöchern zur Befestigung der Drahtsäge versehen ist. Die ganze Versuchsanordnung wurde auf einen sehr stabilen, schweren Holztisch montiert. Das Getriebe hat außerdem als Unterlage einen Holzklotz von 19cm Höhe, um dem Hebelarm beim Drehen Spielraum zu lassen. Der Sägedraht läuft vom Hebelarm direkt um den zu zersägenden Knochen (K), der zwischen zwei Schraubstöcke (S1 und S2) gespannt werden kann. Die Schraubstöcke sind auf einem Eisenrahmen festgeschraubt, der das Tischende überragt. Von dem Knochen läuft die Säge wieder zurück und wird über eine Messingrolle (R1) durch Befestigung einer Schale (Sch) mit Gewichten an einem Haken am Sägenende senkrecht in Richtung auf den Fußboden geleitet. Die Messingrolle ist an einem Gestell befestigt, das ebenfalls das Tischende überragt. Sie ist mit einer Führungsrinne für den Sägedraht versehen. Beim Anstellen des Motors wird die Säge vor und zurück bewegt. In einer Minute werden 26 dieser Bewegungen ausgeführt. Die beim Zersägen des Knochens arbeitende Länge des Sägedrahtes wird bestimmt durch die doppelte Länge des Hebelarms vom Getriebe, beträgt also 30cm. Dazu muß bei Schnittbeginn außerdem der halbe Umfang des Knochens addiert werden. Am Ende des Schnittes sind dann jedoch nur noch 30cm der Säge in Arbeit.

Abb. 2



G Getriebe
H Hebelarm
K Knochen
M Motor

$R_1 + R_2$ Rollen
Sch Schale für Gewichte
 $S_1 + S_2$ Schraubstöcke
T Tropfinfusionsgerät

Mit einem Tropfinfusionsgerät (T) kann der Knochen gekühlt werden. Das Schlauchende des Gerätes hängt in einem Drahtbügel, der wie die Schraubstöcke an dem Rahmen festgeschraubt ist.

Die die beschriebene Anlage in ihrer endgültigen Form fertiggestellt werden konnte, waren die einzelnen Geräte auf zwei Tischen angeordnet. Das Getriebe stand in einer Ebene mit dem Motor auf demselben Tisch, und der Hebelarm überragte den Tisch seitlich. Ebenso war das Gestell mit den zwei Rollen (R1 und R2) so auf einer Tischecke festgeschraubt, daß es den Versuchstisch sowohl seitlich als auch frontal überragte. Auf einem zweiten Tisch wurde der Knochen in nur einen Schraubstock eingespannt. In Vorversuchen erwies sich diese Versuchsanordnung als unzumutbar. Die beiden Tische verrutschten leicht gegeneinander und daraus resultierten Änderungen in der Schnittführung, sodaß der Knochen nicht in einer Ebene durchsägt werden konnte. Zu diesem Verrutschen kam es besonders bei leichtem Verklemmen der Sägedrähte. Weitere Komplikationen ergaben sich aus der Tatsache, daß der Knochen nur an einem Ende im Schraubstock fixiert war. Die Schnittflächen preßten sich hinter dem Sägedraht zusammen, und es kam leicht zum Einklemmen der Säge. Ein Abstützen des freien Knochenendes mit Hölzern und Klemmschrauben vom Nachbartisch aus, konnte das Einklemmen nicht verhindern.

Versuchsmaterial und Vorversuche:

Für die Sägeversuche wurden die Knochen frisch geschlachteter Tiere verwendet. Als am besten geeignet erwiesen sich die Extremitätenknochen von erwachsenen Rindern. Bei Sägeführung zwischen den beiden Messingrollen, wobei die Drahtsäge unter der Rolle R2 und über die Rolle R1 geführt wurde, kam es trotz ausreichender Kühlwasserzufuhr häufig zum Verklemmen der Säge, und der Schnitt wurde unterbrochen. Deshalb wurde die Säge bei weiteren Versuchen nur über die Rolle R2 geführt, und das Ende der Säge hing

hinter dem Knochen mit der Schale für die Gewichte senkrecht nach unten. Mit einem Gewicht von 4,5 kg wurden zwei Messungen durchgeführt. Beim ersten Schnitt mit einer neuen Ließ-Säge wurde ein Rinder-Humerus in 28:5,3 Min. durchsägt, wobei die durchsägte Fläche 1462 qmm groß war. Der zweite Schnitt durch denselben Knochen dauerte 43:30,0 Min. Da diese Art der Sägenführung nur über die Rolle R2 jedoch in keiner Weise dem Sägeverlauf bei einer Osteotomie-Operation, schon gar nicht aber der Führung der Säge im Drahtsägenführungsinstrument nach Becker entspricht, wurde der Sägedraht bei weiteren Versuchen über die Rollen R2 und R1 geführt, wie es in der Abbildung 2 dargestellt ist. In acht Vorversuchen an Rinderknochen wurde ein Gewicht von 4,5 kg am Ende der Säge als am günstigsten ermittelt. Mit dieser Belastung konnte die optimalste Leistung sowohl mit der Ließ-Säge als auch mit einer aus neun einzelnen Stahldrähten bestehenden dünneren Säge erzielt werden. Bei geringerem Gewicht verzögerte sich die Schnittdauer wesentlich und bei höherem Gewicht bestand erhöhte Reißgefahr für die Drahtsägen.

Schweineknöchen und Kalbsknöchen erwiesen sich als ungeeignet zum Zersägen in der Versuchsanordnung. Bei einer Sägenbelastung von 4,5 kg der Ließ-Säge brach der Femur eines Schweines, der in nur einen Schraubstock eingespannt war, nach 52 Sek. Sägezeit auseinander, als er erst zu $\frac{2}{3}$ durchsägt war. Auch nach Verringerung des Gewichtes auf 3,5 kg und später auf 2,5 kg brach der Knochen nach einer gewissen Sägezeit auseinander, der geringeren Arbeitsleistung der Säge bei diesem Gewicht entsprechend, allerdings später. Beim Einspannen des Femurs zwischen zwei Schraubstöcke verklemmte die Säge mehrmals so stark, daß die Kraft des Motors nicht ausreichte, die Säge durch den Knochen zu ziehen. Nur mit dauernder manueller Unterstützung des Gewichtes am Sägenende konnte der Knochen durchsägt werden.

Zu ähnlich negativen Ergebnissen führte das Zersägen von Kalbsknöchen. Die Ließ-Säge verklemmte, der Schnitt

wurde unterbrochen und die aus neun Einzeldrähten bestehende dünnere Säge zerriß unter der Zugwirkung des Elektromotors nach dem Verklemmen. Wenn der Sägedraht allerdings unter der Rolle R2 durchgeführt wurde und hinter dem Knochen herunterhing, konnte der Knochen - bei einer Sägebelastung von 4,5 kg - ohne Komplikationen durchsägt werden. Auch beim Sägen mit der Hand ließ sich der Knochen ohne weiteres glatt durchsägen.

Versuchstechnik:

Es wurden Versuche durchgeführt mit der bei der Embryotomie verwendeten Ließ-Säge der Firma Hauptner, die aus 27 einzelnen Stahldrähten geflochten wird, ferner mit einer dünneren Spezialanfertigung der Firma Hauptner, die sich aus 9 einzelnen Stahldrähten zusammensetzt und damit nur ein Drittel der Stärke der Ließ-Säge aufweist, sowie mit der in der Human-Medizin verwendeten Gigli-Säge, bei der zwei Stahldrähte verflochten sind, deren jeder wiederum von einem feinen Stahldraht umspinnen ist. Die Versuche mit den einzelnen Sägen wurden jeweils bis zum Reißen des Drahtes fortgesetzt. Während des Schnittes wurden die Sägen und der Knochen über das Tropfinfusionsgerät mit Wasser von Zimmertemperatur gekühlt. Für jeden Schnitt wurde die Sägedauer mit einer Stoppuhr gemessen. Um auch die Härte des Knochens zu kontrollieren, wurde an acht Stellen der Compacta mit dem Durosokop der Firma iba die Knochenhärte ermittelt. Aus den gewonnenen Werten wurde jeweils der Mittelwert errechnet. Zur Berechnung der durchsägten Knochenfläche wurden vier Durchmesser des Knochens gemessen und davon der Mittelwert als Durchmesser einer kreisförmigen Knochenfläche angesehen. Der Flächeninhalt dieses Kreises wurde errechnet und durch Subtraktion des Flächeninhalts des Markraumes konnte der Flächeninhalt des Compacta-Ringes bestimmt werden. Um den Radius des Markraumes zu errechnen, wurden jeweils acht Messungen der Compactadicke vorgenommen, deren Mittelwert wiederum als

Durchmesser eines kreisförmigen Compactaringes angesehen wurde. Der Radius des Markraumes war dann leicht durch Subtraktion der Compactadicke von dem Radius des Knochens zu errechnen.

Versuchsergebnisse:

Die Ergebnisse der Versuche mit 10 Ließ-Sägen - aus 27 Einzeldrähten - sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Die Versuche mit den aus 9 Einzeldrähten bestehenden Sägen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Sägedauer sowie die Werte für Größe der durchsägten Flächen sind jeweils von allen Schnitten für jede Säge addiert. Bei den Angaben zur Zahl der Schnitte wurde auch der letzte Schnitt berücksichtigt, bei welchem die Säge riß. In allen Fällen fanden nur Knochen ausgewachsener Rinder Verwendung. Die Härtemessungen mit dem Durosokop wurden nur an der Compacta durchgeführt.

Während des Sägens wurde die Beobachtung gemacht, daß sich bei beiden Sägen die Sägedauer von Schnitt zu Schnitt - bei etwa gleichgroß bleibenden Schnittflächen - erheblich verzögerte. In einzelnen Fällen (Ließ-Säge, Versuch Nr. 7 und 8) brauchte die Säge für den letzten vollständig durchgeführten Schnitt die dreifache Zeit wie für den ersten.

Das Reißen der Sägen kündigte sich oft vorher durch mehrfaches Einklemmen des Drahtes an. Aber nur in seltenen Fällen kam es dabei zum Stillstand der Säge. Das Gewicht am Sägenende erwies sich fast immer als ausreichend groß, den Widerstand zu überwinden und - wenn auch mitunter etwas ruckartig - den Sägedraht durch den Schnittkanal zu ziehen. Als Ursachen dieses Verklemmens wurden einmal unzureichende Kühlung der Säge und zum anderen - als Abnutzungserscheinung - das Reißen einzelner kleiner Drähte beobachtet. Fast bei allen Ließ-Sägen konnten diese Abnutzungserscheinungen nach dem vorletzten Schnitt festgestellt werden.

T a b e l l e 1

Drahtsäge aus 27 Einzeldrähten (Ließ-Säge)

Lfd. Nr.	Laufzeit bis zum Reißen in Minuten	Durchsägte Fläche in qmm	Zahl der Schnitte	Art des Knochens	Durchschnittl. Härte in Duro-skopeinheiten
1	170:07,7	4169	4	Humerus	26,7
2	155:08,7	C:3857 S:2095 5952	5	Tibia	26,0
3	147:17,7	4928	5	Tibia	26,6
4	143:25,4	5882	7	Tibia	25,5
5	134:05,0	6797	5	Radius/Ulna	24,9
6	138:11,6	5124	7	Tibia	26,9
7	159:50,2	C:3331 S: 500 3831	5	Tibia	27,0
8	153:39,9	5442	7	Tibia	27,6
9	108:49,4	4021	5	Tibia	28,3
10	83:39,3	3501	6	Radius/Ulna	25,3

T a b e l l e 2

Drahtsäge aus 9 Einzeldrähten

Lfd. Nr.	Laufzeit bis zum Reißen in Minuten	Durchsägte Fläche in qmm	Zahl der Schnitte	Art des Knochens	Durchschnittl. Härte in Duro-skopeinheiten
1	38:02,2	1745	2	Tibia	26,4
2	42:08,7	1707	2	Tibia	26,7
3	20:20,6	1081	1	Humerus	26,5
4	21:29,1	1258	1	Humerus	26,5
5	39:44,9	2416	3	Tibia	28,0
6	27:03,3	1550	2	Tibia	26,5
7	21:17,1	1036	1	Tibia	27,0
8	36:01,2	2058	2	Tibia	27,1
9	12:45,4	C: 642 S: 312 954	1	Tibia	25,8
10	26:32,4	C:1085 S: 230 1315	2	Tibia	25,2

In drei Fällen kam es zum Reißen der aus neun Einzeldrähten bestehenden Säge nach dem Verklemmen. Diese Versuche wurden nicht gewertet und auch nicht in der Tabelle 2 berücksichtigt.

Bei Versuchen mit fünf Gigli-Sägen stellte sich heraus, daß es nicht möglich ist, sie mit der Versuchsanordnung auf ihre Arbeitsleistung zu prüfen. Schon gleich nach Anstellen des Motors verklemmte die Gigli-Säge und riß. Dieser Versuch wurde fünfmal wiederholt. Das Verklemmen trat ein trotz ausreichender Zufuhr von Kühlwasser. In einem Fall wurden der Knochen und die Säge mit Öl gleitend gemacht. Dennoch verklemmte die Säge und riß. Die Rißstellen lagen in keinem Fall im Schnittbereich der Säge. Bei Verminderung des Gewichtes am Ende der Säge auf 1,5 kg riß die Säge erst nach 4:48,5 Minuten. Zu diesem Zeitpunkt war die Corticalis der zu durchsägenden Tibia auf einer Seite durchsägt, und die Säge drang in den Markraum ein. Auch ein zweiter Versuch endete in ähnlicher Weise. Nach 6:33,7 Minuten drang die Säge in den Markraum ein, verklemmte und riß. Die fünfte Gigli-Säge wurde ebenfalls mit einem Gewicht von 1,5 kg belastet. Außerdem wurde die Schnittlänge der Säge durch Befestigung an dem auf 9,5cm verkürzten Hebelarm des Getriebes verkürzt. Nach 61:27,0 Min. war die Corticalis auf einer Seite der Tibia durchsägt, die Säge drang in den Markraum ein, verklemmte und riß.

Zur Kontrolle wurden nun Knochen unter Verwendung der Gigli-Säge mit der Hand durchsägt. Diese Versuche hatten in drei Fällen Erfolg. Beim Sägen war jedoch der Einsatz der ganzen Körperkraft notwendig, da die Säge insbesondere nach Eintritt in den Markraum stark klemmte. In zwei anderen Fällen klemmte sich die Säge nach zwei bis drei Minuten bei Eintritt in den Markraum so fest ein, daß sie sich nicht weiter ziehen ließ.

Auch mit der Ließ-Säge wurden Kontrollversuche mit Handsägung durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, das in Arbeit befindliche Sägestück ebenso lang zu halten wie

beim Sägen mit dem Elektromotor in der Versuchsanordnung. Die Säge riß beim vierten Schnitt, wobei im ganzen eine Compacta-Fläche von 3039 qmm durchsägt wurde. Bei Sägenführung im Führungsgerät nach Becker riß die Ließ-Säge während des dritten Schnittes, nachdem eine Fläche von insgesamt 2396 qmm durchsägt war.

V e r s u c h s r e i h e 2

=====

Versuchsanordnung:

Um die Erwärmung des Knochengewebes während des Sägens zu ermitteln, wurden Messungen mit einem Thermoelement durchgeführt. Dabei wird die Galvani-Spannung gemessen, die zwischen zwei Lötstellen zweier Drähte von verschiedenen Metallen bei differierender Temperatur besteht. Während die eine Lötstelle bei konstanter Temperatur gehalten wird, liegt die andere am Ort der Temperaturmessung, in diesem Fall also im Knochengewebe.

Herstellung der Thermoelemente:

Zur Herstellung des Thermoelementes wurde 0,6mm dicker Konstantandraht und Kupferdraht von der gleichen Stärke gewählt. Je zwei 10cm lange Stücke der beiden Drahtsorten wurden in möglichst spitzem Winkel aneinander gelötet, wobei darauf geachtet wurde, die Lötstellen möglichst klein zu halten. Zur Isolierung der Drähte wurden über ihre freien Enden feine PVC-Schläuche, mit einem Lumen von 1mm, gezogen. An die beiden Konstantandrahtenden wurde je ein 1m langes Stück isolierten Schalt-Drahtes aus Elektrolyt-Kupfer von 0,5mm Durchmesser gelötet, und die beiden Kupferdrahtenden durch einen 2m langen, isolierten Schalt-Draht verbunden. Über die Lötstellen mit dem isolierten Draht wurden jeweils die PVC-Schläuche vorgezogen, sodaß nunmehr an der Kupfer-Konstantandraht-Lötstelle die Drähte 1cm ohne Isolation frei lagen. Um bei späteren Messungen Ungenauigkeiten durch Nebenströme auszuschließen, wurden die Enden der PVC-Schläuche mit UHU-Alleskleber abgedichtet, und die Kupfer-Konstantan-Lötstellen sowie die freien Drahtenden mit einem UHU-Film überzogen, was durch Eintauchen in Azeton-verdünnten UHU erreicht wurde. Um ein Abknicken der Drähte in den Lötstellen zu verhindern, wurde das Thermoelement mit einem Dünnen Holzstäbchen geschient.

Zwischen die Verbindungsdrähte zu den Konstantandrahtstücken wurde ein Galvanometer geschaltet. Verwendung fand das Multiflex-Galvanometer Type MGO der Firma Dr. B. Lange.

Vorversuche zur Temperaturmessung im Knochen:

Zur Ermittlung des Meßbereichs für die Eichung des Thermoelementes wurden die beim Sägen auftretenden Temperaturen in Vorversuchen mit einem einfachen Quecksilber-Thermometer gemessen. Dazu wurden Löcher in den Knochen gebohrt, deren Durchmesser so beschaffen war, daß sie das Thermometer gerade aufnehmen konnten. Der Schnitt wurde dann möglichst nahe an dem Thermometer vorbeigeführt. Es wurden insgesamt 9 Schnitte durch den Knochen (Tibia-Rind) geführt, teils mit Handbedienung der Sägen, teils unter Verwendung der Versuchsanordnung der Versuchsreihe 1 mit motor-angetriebenem Sägedraht. Die Ergebnisse - bei Verwendung der Ließ-Säge mit 27 Einzeldrähten - sind aus der Tabelle 3 zu entnehmen:

T a b e l l e 3

Antrieb des Sägedrahtes	Lage der Meßstelle	Zahl der Versuche	Ermittelte maximale Temperaturen
=====			
Motor	Markraum	2	25,5°C 29,5°C
	Corticalis	2	30,5°C 27,5°C
manuell	Markraum	2	34,5°C 31,5°C
	Corticalis	2	32,0°C 34,7°C

Die als Ausgangstemperaturen des Knochens ermittelten Werte lagen jeweils um 20°C. Bei einem der manuellen Sägeversuche - mit Lage der Meßstelle in der Corticalis - steckte das Thermometer in so unmittelbarer Nähe des Sägedrahtes, daß es von diesem berührt wurde. Während dieses Versuches stieg die Temperatur auf 34,7°C an.

Im 9. Versuch wurde ein Schnitt mit der Gigli-Säge - Sägen mit der Hand - ausgeführt. Die Säge verklemmte mehrmals und die Tropfenzahl des Kühlwassers mußte auf 200 Tropfen/Mn erhöht werden.

Der Knochen wurde sehr schnell durchsägt. Die Temperatur in der Corticalis stieg dabei nur um 5°C - von 20°C auf 25°C - an.

Eichung des Thermoelementes:

Nach den Ergebnissen der Vorversuche wurde das Thermoelement auf den Meßbereich von 15°C bis 50°C geeicht. Dazu wurde die eine Lötstelle in eine Thermosflasche mit Eiswasser mit der konstanten Temperatur von 0°C getaucht, während der Gegenpol in Wasser mit unterschiedlichen Temperaturen - von 15 - 50°C ansteigend - getaucht wurde. Der Nullpol des Elementes wurde nun an die Anode des Galvanometers, die Meßstelle an die Kathode angeschlossen. Für die Empfindlichkeitsbereiche 1:10 und 1:100 des Galvanometers werden dabei folgende Werte festgestellt: s. Tabelle 4. Nach Eintragung der Punkte in ein Koordinatensystem zeigt sich, daß die Werte etwa auf einer Geraden liegen (Abb. 3 und 4). Mit Hilfe der so gewonnenen Eichkurven lassen sich die bei Messungen vom Galvanometer abgelesenen Werte mit Leichtigkeit in $^{\circ}\text{C}$ umrechnen.

Zu einem späteren Zeitpunkt - während der laufenden Versuche - durchgeführte Kontrollmessungen erbrachten in jedem Fall Werte, die auf oder in unmittelbarer Nähe der Eichkurven lagen.

Versuchstechnik:

Das Spiegelgalvanometer wurde bei den Temperaturmessungen am Knochen erschütterungssicher neben dem Versuchstisch untergebracht. Der Gegenpol des Thermoelementes wurde wiederum in eine Thermosflasche mit Eiswasser von 0°C getaucht. Die zur Temperaturmessung bestimmte Lötstelle wurde durch möglichst enge Bohrlöcher in das Knochengewebe bzw. das Knochenmark geführt. Die Schnittführung der Drahtsäge erfolgte möglichst nahe an dem Thermoelement. Die Kühlung der Säge wurde - wie in der Versuchsreihe 1 - durch Leitungswasser von Zimmertemperatur mit einem Tropfinfusionsgerät durchgeführt.

T a b e l l e 4

Meßwerte zur Eichung des Thermoelementes

Temperatur	Skalenteile	
	Empfindlichkeit 1 : 10	Empfindlichkeit 1 : 100
15°C	23,5	1,8
18°C	29,5	2,8
20°C	36,0	3,4
22°C	42,4	3,8
25°C	49,5	4,7
28°C	58,1	5,5
30°C	63,0	6,0
32°C	69,5	6,5
35°C	76,5	7,4
37,5°C	84,8	8,1
40°C	92,5	9,2
43°C	97,2	9,5
45°C	----	10,2
47°C	----	10,5
50°C	----	11,5

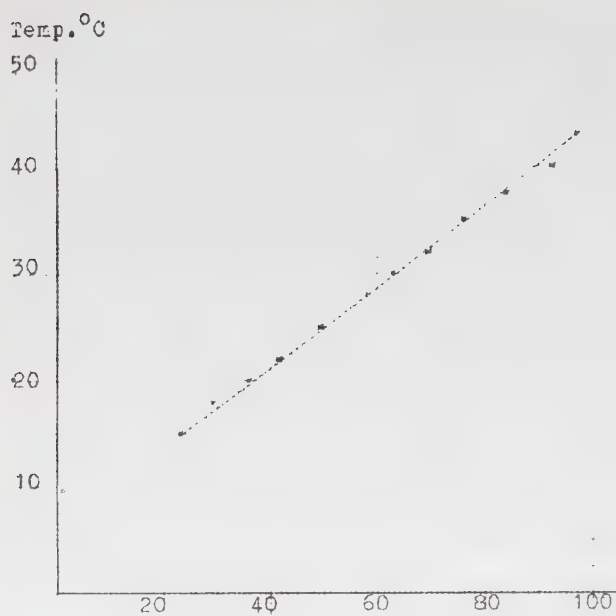


Abb. 3

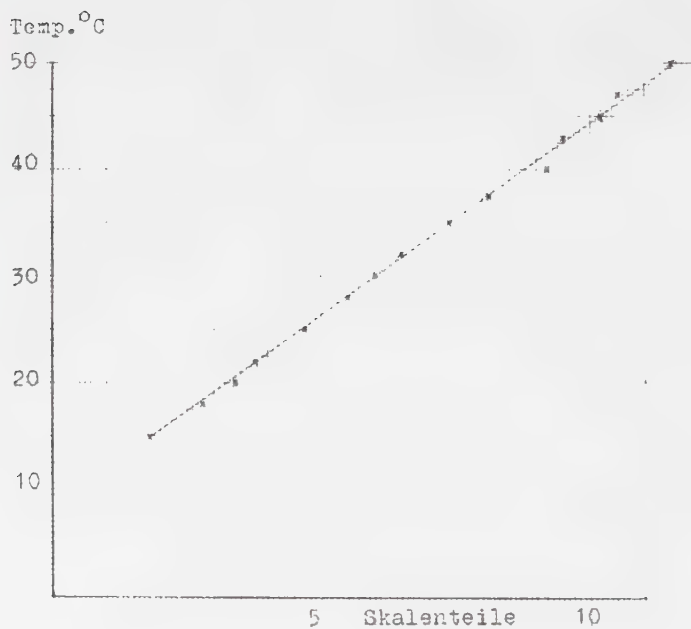


Abb. 4

Nach jedem Schnitt wurde die Härte der Schnittfläche mit dem Durosop bestimmt. Als Knochen dienten Tibia und Radius/Ulna von Rindern. Die angezeigten Werte des Multiflex-Galvanometers wurden während des Sägens alle 15 Sek. abgelesen.

Versuchsergebnisse:

Insgesamt wurden bei 20 Sägeschnitten Temperaturmessungen mit dem Thermoelement durchgeführt. Die Ergebnisse von 18 Versuchen mit der Ließ-Säge sind aus der Tabelle 5 zu ersehen (s.Tab. 5). In einem weiteren Fall konnte der Versuch nicht bis zum Ende durchgeführt werden, weil das Mark herausfiel, in dem die Meßstelle des Thermoelementes steckte. In Versuch 7 wurde die Kühlung während des Sägens unterbrochen. Die Säge klemmte daraufhin nach einigen Zügen fest. Zu diesem Zeitpunkt stieg die Temperatur auf $37,2^{\circ}\text{C}$ an. Unter erneuter Zufuhr von Kühlwasser in der angegebenen Tropfenzahl wurde der Versuch darauf beendet. Im Versuch 8 wurde der Schnitt so nahe am Thermoelement vorbeigeführt, daß der Draht von der Drahtsäge berührt wurde. Zu diesem Zeitpunkt wurde die angegebene Maximaltemperatur gemessen. Um das Thermoelement nicht zu beschädigen, mußte der Versuch abgebrochen werden.

Die im Abstand von 15 Sekunden abgelesenen Skalenwerte des Galvanometers geben ein Bild des Temperaturverlaufes während des Sägeschnittes. Drei typische Versuche - Nr 1, 6 und 16 - sind im Koordinatenkreuz graphisch dargestellt (Tab. 6, 7, 8 und Abb. 5). Auf der Ordinate wurden die ermittelten Temperaturen aufgetragen, auf der Abszisse die Zeit. Im Versuch Nr 16 lag die Lötstelle des Thermoelementes am Anfang des Schnittes in der Compacta, im Versuch Nr 6 dagegen am Ende. Aus dem Verlauf der Kurven lassen sich folgende Aussagen treffen: Durch Wärmeleitung im Knochengewebe kommt es von Schnittbeginn an zu einer langsamen Erwärmung des gesamten Knochens. Kommt der Sägedraht in die Nähe der Meßstelle, so steigt die Temperatur steil an und fällt innerhalb von 1 - 3 Minuten ebenfalls

T a b e l l e 5

Ergebnisse der Versuchsreihe 2 bei Verwendung der Ließ-Säge

Technik	Ver- suchs- gruppe	Lage der Meßst.	Zahl der Ver- suche	Lfd. Nr.	Tropf- zahl d. Kühl- wassers pro Min.	Duro- skop- Härte	Temperatur- anstieg von bis °C °C
=====							
Sägen mit dem Motor	1	Mark- raum	4	1	40	26,0	18,7 38,0
				2	40	26,5	21,6 50,2
				3	80	24,4	20,7 46,0
				4	80	26,5	38,2 40,1
	2	Spon- giosa	1	5	80	c=25,9 s= 8	18,5 27,5
				6	40	26,6	22,3 39,2
				7	40	26,3	22,0 37,2
				8	60	26,5	22,8 46,5
				9	80	26,6	23,6 33,0
				10	80	26,3	23,4 32,8
				11	160	27,0	21,8 28,0

Sägen mit der Hand	3	Mark- raum	3	12	80	26,0	22,0 48,5
				13	120	26,1	36,8 40,2
				14	160	26,5	24,6 29,3
	3	Spon- giosa	1	15	120	c=27,1 s= 9,2	26,6 36,6
				16	80	26,5	23,5 39,4
				17	120	26,5	23,5 35,3
	4	Com- pac- ta	3	18	160	27,0	24,2 27,7

T a b e l l e 6

Meßergebnisse des Versuchs 1

Zeit in Minuten	Temperaturen in °C			
	0 Sek.	15 Sek.	30 Sek.	45 Sek.
-	18,7	19,1	19,1	19,1
1	19,2	19,4	19,4	19,6
2	19,6	19,8	19,8	20,0
3	20,1	20,3	20,4	20,6
4	20,9	21,3	21,7	21,8
5	22,0	22,3	22,6	23,1
6	23,6	24,8	25,7	27,2
7	29,2	33,0	38,0	38,0
8	33,7	30,5	30,1	28,8
9	28,2	27,5	27,2	26,4
10	26,2	25,8	25,6	25,5
11	25,3	25,2	25,1	25,1
12	25,0			

T a b e l l e 7

Meßergebnisse des Versuchs 6

Zeit in Minuten	Temperaturen in °C			
	0 Sek.	15 Sek.	30 Sek.	45 Sek.
-	22,3	23,1	23,1	23,0
1	23,1	23,3	23,7	23,9
2	23,9	24,0	24,1	24,3
3	24,3	24,3	24,4	24,4
4	24,5	24,5	24,6	24,6
5	24,8	24,8	25,0	25,2
6	25,1	25,1	25,2	25,3
7	25,4	25,4	25,6	25,8
8	25,8	25,8	26,2	26,6
9	27,1	27,8	28,6	29,6
10	31,2	32,2	33,0	34,2
11	34,6	35,6	36,5	37,5
12	37,5	38,2	38,5	39,2
13	38,5			

T a b e l l e 8

Meßergebnisse des Versuchs 16

Zeit in Minuten	Temperaturen in °C			
	0 Sek.	15 Sek.	30 Sek.	45 Sek.
-	23,5	25,0	29,3	31,5
1	34,5	38,2	39,4	38,3
2	37,5	35,7	34,4	33,8
3	32,8	31,5	30,8	----

T a b e l l e 9

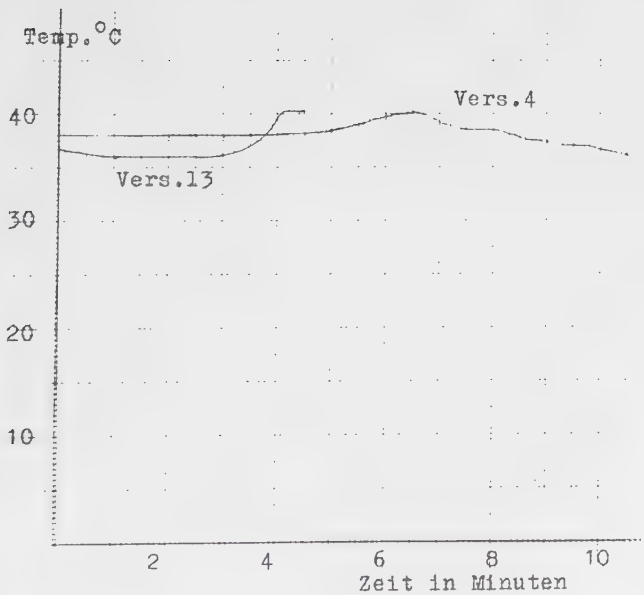
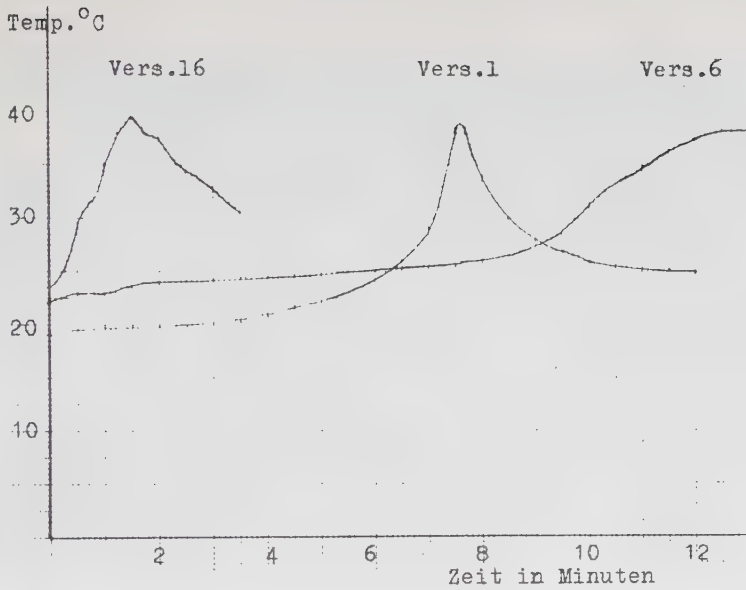
Meßergebnisse des Versuchs 4

Zeit in Minuten	Temperaturen in °C			
	0 Sek.	15 Sek.	30 Sek.	45 Sek.
-	38,2	38,2	38,2	38,2
1	38,3	38,2	38,2	38,2
2	38,0	38,0	38,0	38,0
3	38,0	38,0	38,0	38,0
4	38,2	38,2	38,2	38,3
5	38,5	38,7	39,0	39,1
6	39,7	40,1	40,1	39,6
7	39,3	39,0	38,8	38,8
8	38,6	38,2	37,8	37,5
9	37,5	37,3	37,2	37,0
10	36,7	36,5	36,3	36,2

T a b e l l e 10

Meßergebnisse des Versuchs 13

Zeit in Minuten	Temperaturen in °C			
	0 Sek.	15 Sek.	30 Sek.	45 Sek.
-	36,8	36,8	36,3	36,2
1	36,0	36,0	36,0	36,0
2	36,0	35,8	36,0	36,0
3	36,3	36,5	37,1	38,2
4	39,6	40,2	40,2	----



wieder steil ab. Im Versuch Nr 6 wurde der Temperaturabfall noch 10 Minuten lang nach Beendigung des Schnittes beobachtet. Bei Zimmertemperatur von ca. 20°C war die Temperatur des Knochens zu diesem Zeitpunkt auf $21,7^{\circ}\text{C}$ langsam abgefallen.

In den Versuchen Nr 4 und 13 wurde der Knochen vor Beginn des Schnittes im Wasserbad auf Körpertemperatur erwärmt. Der Temperaturverlauf während des Sägens ist aus den Tab. 9 und 10 sowie aus der Abb. 6 zu entnehmen.

In zwei weiteren Versuchen - Nr 19 und 20 - wurde die Erwärmung des Knochens beim Sägen mit der aus 9 Einzeldrähten bestehenden dünneren Säge geprüft. Im Versuch 19, bei Lage der Meßstelle am Schnittanfang, in der Compacta, stieg die Temperatur bei 40 Tropfen Kühlwasser in der Minute von $24,0^{\circ}\text{C}$ auf $29,4^{\circ}\text{C}$ an, und beim Messen am Schnittende in der Compacta wurde bei 80 Tropfen Kühlwasser in der Minute ein Anstieg von $25,6^{\circ}\text{C}$ auf $30,7^{\circ}\text{C}$ ermittelt.

Mit der Gigli-Säge konnten Radius und Ulna eines Rindes innerhalb einer Minute durchsägt werden. Trotz 240 Tropfen Kühlwasser in der Minute kam es mehrfach zum Verklemmen und der Schnitt konnte nur mit großem Kraftaufwand beendet werden. Die Temperatur stieg von $20,2^{\circ}\text{C}$ auf $28,5^{\circ}\text{C}$ an. Das Thermoelement lag in einem Bohrloch in der Spongiosa. Bei einem darauf folgenden zweiten Schnitt riß die Säge bei Eintritt in den Markraum.

Besprechung der Versuchsergebnisse der Reihe 1:

Aus den Ergebnissen der Versuchsreihe 1 ergibt sich eindeutig, daß die Ließ-Säge weitaus am haltbarsten ist. Während mit der dünneren Säge, die aus neun Einzeldrähten besteht, nur 1 - 2 (1,7) Schnitte durch einen Rinder-Extremitätenknochen geführt werden können, kann man denselben Knochen mit der Ließ-Säge 5 - 7 (5,6) mal durchsägen. Bezüglich der Sägeleistung ist die dünnere Säge der Ließ-Säge etwas überlegen. Addiert man die Sägezeiten aller zehn Sägen der Tabelle 1 und die durchsägten Knochenflächen, so stellt sich heraus, daß in 1394:14,9 Min. insgesamt 49647 qmm Knochen durchsägt wurden. Daraus läßt sich errechnen, daß die Ließ-Säge in einer Minute 35,57 qmm Knochen durchsägt. Die dünneren Sägen durchsägten nach Tabelle 2 in 285:24,7 Min. 15120 qmm Knochen. Die Minutenleistung läßt sich daraus mit 53,05 qmm berechnen. Aus dem Verhältnis 35,57:53,05 zu schließen, die Leistung der dünneren Säge läge um 50% höher, wäre jedoch ein Fehler. Während des ersten Schnittes sägt nämlich die dünnere Säge nur unwesentlich schneller. Die Ließ-Säge wird erst später in ihrer Leistung langsamer, zu einem Zeitpunkt, wo die dünnere Säge längst gerissen ist. Die Zunahme der Schnittdauer ist darauf zurückzuführen, daß sich Knochenmehl und andere Gewebsteile zwischen die Drähte setzen. Durch Reinigen der Sägedrähte wären diese unangenehmen Begleiterscheinungen wohl weitgehend zu beseitigen.

Eine vergleichende Betrachtung zur Gigli-Säge läßt sich leider nicht durchführen, weil diese Säge nicht mit der Versuchsanordnung getestet werden konnte. Die Beurteilung muß sich daher auf die negativen Ergebnisse beim Sägen mit dem Elektromotor in der Versuchsanordnung und auf die Handsägeversuche stützen. Auf Grund ihrer schärferen "Zahnung" schneidet die Gigli-Säge wesentlich schneller als die beiden anderen Sägen, neigt aber sehr zum Verklemmen, besonders beim Eindringen in den Markraum. Sie ist dann entweder garnicht mehr oder nur unter großem Krafteinsatz weiterzuziehen.

Außerdem ist sie längst nicht so haltbar wie die "Ließ-Säge". Dies dürfte auch der Grund dafür sein, daß sie - trotz der Vorteile der Sägenführung von innen nach außen - nur ganz beschränkt Verwendung in der Knochenchirurgie fand.

Die Ließ-Säge dagegen hat in diesen Versuchen bewiesen, daß man eine sehr große Fläche durchsägen kann (durchschnittlich 49647 qmm pro Säge). Die zu zersägende Fläche eines Rinder-Humerus beträgt ca. 1000 qmm. Die vergleichbaren Werte sind für einen Hunde-Humerus ca. 80 bis 100 qmm, für einen Menschen-Femur ca. 400 - 500 qmm.

Da in der Chirurgie eine Säge nur für e i n e n Schnitt verwendet wird, kann man sowohl die Ließ-Säge aus 27 Einzeldrähten als auch die dünnere Säge aus 9 Einzeldrähten für die Osteotomie bei Mensch und Tier empfehlen.

Besprechung der Versuchsergebnisse der Reihe 2:

In der Tabelle 4 sind die Versuchsgruppen zu den einzelnen Meßstellen nach der steigenden Tropfenzahl der Kühlflüssigkeit geordnet. Dabei wird deutlich, daß der Temperaturanstieg abhängig ist von der Menge der zugeführten Kühlflüssigkeit. Bei den Versuchen mit Handsägung geht sowohl aus der Versuchsgruppe 4, mit Lage der Meßstelle im Markraum, als auch aus der Gruppe 3, bei der in der Compacta gemessen wurde, deutlich hervor, daß mit steigender Tropfenzahl der Kühlflüssigkeit niedrigere Sägetemperaturen gemessen werden. Auch für die 6 Versuche mit Motorsägung - bei Lage der Meßstelle in der Compacta (Versuchsgruppe 2) - läßt sich diese Feststellung treffen. Der aus dem Rahmen fallende Versuch 8 muß gesondert gewertet werden, weil in diesem Fall der Sägedraht direkt am Thermoelement sägte.

Die Ergebnisse der Gruppe 1 fallen etwas aus dem Rahmen und lassen sich nicht in das aufgezeigte Schema einordnen. Bei den Versuchen 2 und 3 wurden Temperaturen bis 50°C gemessen. Ein Vergleich mit der Versuchsgruppe 3 zeigt, daß auch hier, bei Lage der Meßstelle im Markraum, die festgestellten Temperaturen verhältnismäßig hoch liegen. (bis $48,5^{\circ}\text{C}$). Der Grund dafür ist wohl darin zu sehen, daß das Kühlwasser nicht so gut in das Zentrum des Knochens vorzudringen vermag, wie an die leicht zu erreichende, oberflächliche Compacta. Die Abweichungen der Versuchsergebnisse der Gruppe 1 dürften demnach auch ihre Ursachen in der unterschiedlichen Kühlung des Markes bei den einzelnen Versuchen haben. Bei den Versuchen 2 und 3 konnte das Kühlwasser nur ungenügend oder gar nicht bis zum Knochenmark vordringen.

Die Versuche mit der aus 9 Einzeldrähten bestehenden Drahtsäge brachten keine wesentlichen Abweichungen zu den Versuchsergebnissen mit der Ließ-Säge.

Auch beim Sägen mit der Gigli-Säge traten keine abnorm erhöhten Temperaturen auf. Da aber eine schon sehr hohe Tropfenzahl der Kühlflüssigkeit nötig war, um ein allzu

starkes Verklemmen der Säge einigermaßen zu verhindern, läßt sich auch bei dieser Versuchsreihe kein genauer Vergleich mit den beiden anderen Sägen anstellen.

Abschließend ist festzustellen, daß bei ausreichender Zufuhr von Kühlflüssigkeit beim Sägen mit Drahtsägen die Erwärmung des Gewebes in so niederen Grenzen zu halten ist, daß das Auftreten eiweißschädigender Temperaturen vermieden werden kann. Bei der Osteotomie am lebenden Knochen wird die Kühlung des Gewebes und der Säge im Vergleich zu den Versuchen noch dadurch erleichtert, daß die Kühlflüssigkeit (sterile phys. NaCl-Lösung) nicht sofort abtropft, sondern sich in der Wunde sammelt. Durch Einlegen von kleinen Pausen während des Sägens kann außerdem die Wärmeentwicklung zusätzlich eingeschränkt werden.

Zusammenfassung

=====

In der vorliegenden Arbeit wurden 3 Arten von Drahtsagen auf ihre Verwendbarkeit zur Osteotomie geprüft.

Das von BECKER hierzu entwickelte Instrumentarium findet in der Veterinär- und Humanmedizin Verwendung.

Zur Prüfung kamen:

1. die Embryotomiedrahtsäge nach Ließ/Hauptner
- aus 27 Einzeldrähten geflochten - ,
2. eine dünne Drahtsäge - aus 9 Einzeldrähten - ,
3. die Giglisäge, welche hauptsächlich in der Humanmedizin Verwendung findet.

Die Sägen wurden in einen elektrisch angetriebenen Versuchsapparat eingespannt und Röhrenknochen frisch geschlachteter Rinder zersägt. Auf diese Weise war es möglich, für alle Sägen gleiche Belastungsvoraussetzungen zu schaffen. Die Untersuchungen ergaben, daß die Sägeleistung und Haltbarkeit der Ließ-Säge am größten war. Es konnte der Knochen 5 - 7 mal durchgeschnitten werden. Dies ergibt zusammengezählt einen Knochenquerschnitt von durchschnittlich 4964,2qmm pro Säge. Mit der dünnen Säge Nr. 2 wurden 1 - 3 Schnitte mit 1512qmm Knochenquerschnitt durchgeführt. Die Säge Nr. 3 verklemmte sich nach kurzer Zeit im Knochen und erwies sich als unbrauchbar.

In einer zweiten Versuchsreihe wurden die beim Zersägen auftretenden Temperaturen an verschiedenen Stellen im Knochen gemessen. Hierzu setzte ich Thermoelemente in die Corticalis, Spongiosa und den Markraum ein. Es traten keine Temperaturen zwischen Säge und Knochengewebe auf, die bei ausreichender Kühlung zu einer Schädigung lebenden Gewebes führen können.

Die Prüfung hat somit ergeben, daß die Säge nach Ließ/Hauptner Nr. 1 und die dünne Drahtsäge Nr. 2 gut verwendbar sind. Sie ermöglichen eine erschütterungsfreie

Schnittführung aus der Tiefe der Operationswunde nach außen. Sie können mit Hilfe der Führungssonde unmittelbar am Knochen angelegt und durch das Sägegerät gegen benachbarte Weichteile abgedeckt werden, so daß Weichteilverletzungen unmöglich sind. Ein Reißen der Drahtsäge ist bei diesen Operationen nicht zu befürchten, zumal in der Chirurgie jede Säge nur einmal verwendet wird. Die Gigli-Säge eignet sich für diese Form der Osteotomie nicht.

Literaturverzeichnis

1. Baeyer, H. "Pendel-Knochensäge"
Zbl.Chir. 54, 2394, (1927)
2. Becker, Drahtsäge Modell D (Hauptner) und
Ketten- oder Gliedersäge (Persson)
- ein Vergleich
Tierärztl.Rdsch.(Wittenberge) 37, 916, (1931)
3. Benesch, F. Demonstration der Wirkung des modi-
fizierten Neubarth'schen Fötotoms
bei einem Schistosoma reflexum
Wien.tierärztl.Mschr. 12, 426, (1925)
4. Benesch, F. Zeitgemäße operative Geburtshilfe-
leistung bei Großtieren
Wien.tierärztl.Mschr. 16, 1, (1929)
5. Benesch, F. Welche Sägegriffe zur Betätigung der
Drahtsäge anlässlich einer Embryotomie
eigenen sich am besten
Wien.tierärztl.Mschr. 22, 429, (1935)
6. Benesch, F. Lehrbuch der tierärztlichen Geburts-
hilfe und Gynäkologie
1.Auflage-Urban und Schwarzenberg-
Wien-Innsbruck und München-Berlin
S.259ff, (1952)
7. Dewitz, W. Erfahrungen mit der Herstellung
wissenschaftlicher Filme in der
Medizin insbesondere in der Veterinär-
medizin
Diss. Berlin (1962)
8. Franck, L. Handbuch der tierärztlichen Geburts-
hilfe
Wiegand, Hempel und Parey, Berlin,
S. 332 (1876)
9. Gellert, R. Ein neuer Handgriff zur Drahtsäge
Prakt.Tierarzt 343, (1960)
10. Glättli, H. Zwei neue geburtshilfliche Instrumente
Tierärztl.Rdsch. 33, 898, (1927)
11. Hadenfeldt, H. Über die chirurgische Säge
Zbl.Chir. 57, 645, (1930)

12. Haglund, P. Osteotomiemeißel
Zbl.Chir. 52, 680, (1925)
13. Hagmann, G. Untersuchungen über die Haltbarkeit
der Sägen in den neuzeitlichen
Drahtsägenembryotomen und Vorschlag
einer neuen Modifikation des Embryo-
toms nach Thygesen
Hannover, Vet.-med.Diss. 1936
14. Hauptner, R. Welche Drahtsäge zur Embryotomie ist
die beste?
Tierärztl.Rdsch. 32, 97, (1926)
15. Hegemann, G. Operationslehre
2.Auflage - Springer, Berlin, Göttingen,
Heidelberg (1958)
1.Band "Allgemeine Operationslehre"
1.Teil, S.329 ff
16. Helwig, E. Über einen neuen Meißelschliff
Zschr.orthop.Chir., Stuttgart 41,
414, (1921)
17. Kingreen, O. Chirurgische Operationslehre
1.Auflage, Urban und Schwarzenberg,
München-Berlin, S. 71, (1952)
18. Krümmel, jr. Demonstration neuer Instrumente
Zbl.Chir. 56, 237, (1929)
19. Lange, M. Orthopädisch-chirurgische
Operationslehre
J.F.Bergmann, München, S. 3, (1951)
20. Liebsch, E. Vergleichende Eignungs- und Leistungs-
prüfungen der in der Embryotomie ge-
bräuchlichen Drahtsägen.
Tierärztl.Rdsch. 35, 693, (1927)
21. Ließ, J. Eine neue Modifikation des Drahtsäge-
embryotoms
Dtsch.tierärztl.Wschr. 35, 693, (1927)
22. Ließ, J. Über eine neuartige Drahtsäge
Tierärztl.Rdsch. 34, 443, (1928)
23. Ließ, J. Eine verstärkte Drahtsäge zur Embryo-
tomie mittels Röhrenembryotom
Tierärztl.Rdsch. 37, 209, (1931)

4. Linde, K. Über die neue Pomayer'sche Drahtsäge
Tierärztl.Rdsch. 32, 42, (1926)
5. Neubarth Noch ein Instrument zur Ausführung
der Embryotomie
Berliner tierärztl.Wschr. 45, 514, (1922)
6. Neubarth Das Universal-Fötotom
Berliner tierärztl.Wschr. 39, 333, (1923)
7. Osterwald, W. Zur Kringelbildung bei Drahtsägen
Prakt.Tierarzt 134, (1961)
8. Payr, E. Meißel mit Messerschliß für
Knochenplastik
Zbl.Chir. 47, 1261, (1920)
9. Petrova, A. Der Einfluß der Methoden der Knochen-
bearbeitung mit der Säge auf den Ver-
lauf des Regenerationsprozesses
Vestn.Chir. 70, 33, (1950)
Ref.in: Z.org.ges.Chir. 118, 105, (1951)
10. Pomayer Eine neue Drahtsäge
Tierärztl.Rdsch. 31, 893, (1925)
11. Pomayer Drahtsäge und moderne Embryotomie
Tierärztl.Rdsch. 36, 74, (1930)
12. Quast, W. Untersuchungen über die Haltbarkeit
der Sägen in verschiedenen neuzeit-
lichen Drahtsäge-Embryotomen
Hannover, Vet.-med.Diss. 1937
13. Reetz, G. Stellungnahme zu einzelnen embryo-
tomischen Methoden und Rückblick auf
die Entwicklung der Drahtsäge-
Führungsinstrumente
Tierärztl.Umschau, Konstanz, 5,
409, (1950)
14. Reetz, G. Zur Kringelbildung bei Drahtsägen
Tierärztl.Umschau, Konstanz, 17,
274, (1962)
15. Richter/Götze Tiergeburtshilfe
2.Auflage, Parey, Berlin und Hamburg,
S. 348 ff. (1960)

36. Sarnoff, J. A guard for the Gigli saw. A simple device to prevent the Gigli saw from coming in contact with any of the tissues expect the bone to be cut
Ann.Surg.(Philadelphia), 93, 792, (1931)
37. Schüller Das Thygesen'sche Embryotom
Berliner tierärztl.Wschr. 38, 171, (1922)
38. Schlichting, H. Die Embryotomie mit einem neuen Drahtsägenführungsinstrument
Berliner tierärztl.Wschr. 48, 657, (1932)
39. Strodthoff, H. u. H.Schlichting Die Geburtshilfe mit Vacuifact und Embryotom nach Thygesen nebst Kasuistik
Berliner tierärztl.Wschr. 44, 103, (1928)
40. Thomsen, W. Über das Sägen und Meißeln in der Knochenchirurgie
Langenbeck's Arch.klin.Chir. 267, 608, (1951)
41. Thomsen, W. Weitere Fortschritte in der Technik des Sägens und FräSENS in der Knochenchirurgie
Chirurg, 26, 189, (1955)
42. Thygesen, J. Universal-Embryotom
Mskr.Dyrlaeg., K'hvn 33, 1, (1921)
Ref.in: Iber.Vet.-Med. 41, 226, (1924)
43. Zirkler, G. Prüfung verschiedener Drahtsägen auf ihre Haltbarkeit im Embryotom nach Thygesen und seiner Hannoverschen Modifikation (Modell Ließ)
Hannover, Vet.med.Diss. 1937
44. Becker, E. Kurzer Überblick über die Osteosynthese und Osteotomie unter Verwendung einer neuen Knochensäge
Berl.Münch.Wschr. 76, 16, (1963)

Zum Schluß meiner Arbeit möchte ich
Herrn Professor Dr. B e c k e r für
die Überlassung des Themas und die
jederzeit gewährte Hilfe herzlich danken.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Professor
Dr. W i t t k e und den Mitarbeitern
seines Instituts für die Beratung und
Unterstützung beim Bau des Thermoelementes.

L e b e n s l a u f

Am 19. Juni 1936 wurde ich - Gerd Erwin Günter
W o l t e r s d o r f f - als Sohn des Lehrers
Herbert Woltersdorff und seiner Ehefrau Herta, geborene
Möller, geboren.

Nach 8 Jahren Grundschule in Hennickendorf, Kreis
Luckenwalde, und später in Motzen, Kreis Königs-Wuster-
hausen, wo mein Vater als evangelischer Geistlicher an-
gestellt wurde, besuchte ich ab 1950 die Oberschule in
Königs-Wusterhausen. Ab 1953 ging ich auf die Menzelschule
in Berlin-Tiergarten, wo ich am 15. Februar 1957 mein
Abitur ablegte.

Im Sommer-Semester 1957 wurde ich an der Veterinär-
medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin
immatrikuliert. Nach dem Winter-Semester 1958/1959 bestand
ich meine tierärztliche Vorprüfung.

Im Winter-Semester 1959/1960 und im Sommer-Semester
1960 studierte ich an der Veterinärmedizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilian-Universität in München.

Anschließend kehrte ich an die FU Berlin zurück und
schloß mein Studium am 23. März 1963 mit dem Staatsexamen
ab. Am 1. Oktober 1962 erhielt ich die Bestallung als Tierarzt.

Vom 1. April 1962 bis zum 31. März 1963 war ich am
Institut für Röntgenologie, Tierzahnheilkunde und Veterinär-
Orthopädie als wissenschaftlicher Hilfsassistent angestellt.
Seit April 1963 arbeite ich als Assistent von Herrn Dr. Platen
in Dinslaken.

